ÉLELMISZERVIZSGÁLATI
KÖZLEMÉNYEK
JOURNAL OF FOOD INVESTIGATION
TUDOMÁNY-ÉLET-MINŐSÉG-BIZTONSÁG
LXXI. ÉVFOLYAM 3. SZÁM
VOL. 71, 2025 NO. 3
SCIENCE – LIFE – QUALITY – SAFETY
2025. SZEPTEMBER 30.
30 SEPTEMBER 2025

Experience with Cases of Illness Following Mushroom Consumption in 2024 in Hungary

A 2024. év gombafogyasztás utáni megbetegedési eseteinek tapasztalatai Magyarországon



A szőlőbogyó polifenolos összetételének változása borkészítés során • Agroerdészeti rendszerben termelt mezei sóska, lándzsás útifű és kis télizöld antioxidáns tartalmának vizsgálata • A tárolási hőmérséklet alma-tömegveszteségre gyakorolt (multiplikatív) hatásának prediktív modellezése • Nemzeti szabványosítási hírek

Changes in the Polyphenolic Composition of Grape Berries During Winemaking • An Investigation of the Antioxidant Composition of Common Sorrel, Lance-Leaved Plantain, and Lesser Periwinkle Grown in Agroforestry Systems • Predictive Modelling of the Multiplicative Effect of Storage Temperature on Apple Weight Loss • National Standardization Review

eviko.hu

TARTALOM – CONTENTS

Experience with Cases of Illness Following Mushroom Consumption in 2024 in Hungary **3**
(Anasztázia Baróti, Attila Bathó)
A 2024. év gombafogyasztás utáni megbetegedési eseteinek tapasztalatai Magyarországon *3*
(Baróti Anasztázia, Bathó Attila)

A szőlőbogyó polifenolos összetételének változása borkészítés során **13**
(Szabó Éva, Okba Hatem, Ipacs-Szabó István, Kőrösi László)
Changes in the Polyphenolic Composition of Grape Berries During Winemaking *13*
(Éva Szabó, Okba Hatem, István Ipacs-Szabó, László Kőrösi)

Agroerdészeti rendszerben termelt mezei sóska (*Rumex Acetosa L.*), lándzsás útifű (*Plantago Lanceolata L.*) és kis télizöld (*Vinca Minor L.*) antioxidáns tartalmának vizsgálata **23**
(Hofmann Tamás, Benke Dénes, Visiné Rajczi Eszter)
An Investigation of the Antioxidant Composition of Common Sorrel, Lance-Leaved Plantain, and Lesser Periwinkle Grown in Agroforestry Systems *23*
(Tamás Hofmann, Dénes Benke, Eszter Visiné Rajczi)

Predictive Modelling of the Multiplicative Effect of Storage Temperature on Apple Weight Loss **40**
(Péter Korzenszky, Anna Farkas, Salma Kassebi, Antal Veres)
A tárolási hőmérséklet alma-tömegveszteségre gyakorolt (multiplikatív) hatásának prediktív modellezése *40*
(Korzenszky Péter, Farkas Anna, Salma Kassebi, Veres Antal)

Nemzeti szabványosítási hírek **49**
(Szalay Anna)
National Standardization Review *49*
(Szalay Anna)

ISSN 0422-9576

Anasztázia BARÓTI[1], Attila BATHÓ[1]

DOI: https://doi.org/10.52091/EVIK-2025/3-1

Arrived: May 2025 – Accepted: June 2025

Experience with Cases of Illness Following Mushroom Consumption in 2024 in Hungary

Keywords: mushroom poisoning, Nébih, amatoxin

1. Abstract

Hungary has a centuries-old tradition of collecting and eating wild mushrooms. The lack of proper knowledge about mushrooms poses a continuous risk to consumers, which can lead to hundreds of cases of mushroom poisoning every year, depending on the weather. With the home preservation of mushrooms (drying, freezing, canning), we can see cases of mushroom illness every month, not just during the time when mushrooms can be found in their natural habitat. The National Food Chain Safety Office (Nébih) plays a key role in investigating mushroom poisoning cases in the country. After the onset of symptoms, samples sent to the laboratory are examined to determine whether the case is mushroom poisoning or another condition caused by mushroom consumption (symptoms of an existing illness, food poisoning, allergic reaction, or imagined mushroom poisoning).

We present the cases of illness following mushroom consumption in 2024 and the results of laboratory tests based on data from Nébih.

During the year, a total of 215 test samples were received from cases of illness following mushroom consumption, involving 309 people and 2 dogs. Most cases occurred in October (131 cases); in our experience, the number of cases is typically higher in this month, but unfortunately, 2024 was an exceptional year. During the analysis of the cases, we identified various species causing illness. These includes mushroom species containing amatoxin (e.g., *Amanita phalloides*, *Lepiota* spp.), toxic mushroom species affecting the nervous system (e.g., *Inocybe* spp., *Amanita pantherina*), species irritating the gastrointestinal tract (e.g., *Entoloma sinuatum*, *Omphalotus olearius*), and raw poisonous mushrooms (e.g., *Armillaria mellea*). Laboratory tests were performed on raw mushrooms, food samples, vomit, and gastric lavage fluid. The results highlight the importance of education and prevention, especially among the general public, as the population cannot be required to acquire the knowledge necessary for mushroom picking.

[1] National Food Chain Safety Office, Food Chain Safety Laboratory Directorate, Microbiological National Reference Laboratory

Anasztázia Baróti barotib@nebih.gov.hu http://orcid.org/0009-0000-1002-0767

Attila Bathó http://orcid.org/0009-0006-0706-6952

2. Introduction

Mushroom poisoning (mycetism) is linked to wild mushroom consumption and is a potentially serious, even fatal, illness that continues to pose a significant public health problem in Hungary. Mushroom picking and consumption is a widespread tradition, but a significant proportion of the population does not have adequate knowledge of mushrooms, which increases the risk of poisoning.

The clinical presentation of mushroom poisoning is extremely varied. Symptoms can range from mild gastrointestinal complaints to severe liver, kidney, and nervous system damage. The severity of poisoning is determined primarily by the type of mushroom consumed, the type of toxin it contains, the amount consumed and the incubation period. Species containing cytotoxins are particularly dangerous, as they can cause rapid and severe organ damage despite the late onset of symptoms.

The impact on the population is reflected not only in the health damage, but also in the burden on the healthcare system. In most cases, mushroom poisoning requires emergency care, toxicological observation and, in severe cases, intensive care. In addition, psychological factors also play a role, as suspicion of illness following mushroom consumption or fear of illness often leads even asymptomatic individuals to seek medical attention.

Official investigations play a key role in investigating and distinguishing mushroom poisoning from other types of illness associated with mushroom consumption, such as food poisoning, allergic reactions, or imagined mushroom poisoning. The legal framework in Hungary clearly defines the reporting obligation and the order of laboratory tests, which ensure the professional handling of cases.

The basic prerequisite for effective patient care is an accurate diagnosis, for which laboratory testing is essential. The results of macro- and microscopic mushroom species identification and, if necessary, toxin testing enable not only the type of poisoning to be determined, but also directly influence therapeutic decisions. Early and reliable laboratory results can significantly improve the outcome, especially in cases of severe poisoning with delayed symptoms.

3. Literature overview

The collection and consumption of wild mushrooms has a long tradition in Hungary. However, at the same time, there is still a risk of mushroom poisoning, especially among amateur collectors. The Nébih carries out laboratory tests at national level on samples suspected of causing mushroom poisoning, as authorised by Decree 62/2003 (X. 27.) of the Federal Ministry of Health and Consumer Protection.

Since the 1950s, regulatory action has been taken in response to the high incidence of mushroom poisoning in the country. In 1953, 3000 people suffered from mushroom poisoning, 300 of which were fatal, and strict legislation was needed. First of all, Decree 8200-7/1954 of the Department of Health, defined which the species of mushrooms that could be sold on the market, regulated the conditions for the marketing of wild-grown mushrooms and the mandatory notification and investigation of suspected cases of mushroom poisoning (Lévai, 1984).

Currently, the most important legislation is Decree 62/2003 (X.27.) of the Ministry of Health, Social Affairs and Family, which contains the health tasks, including the procedure to be followed in case of suspected mushroom poisoning, and Decree 107/2011 (XI.10.) of the Ministry of Rural Development, which defines the conditions for entering the food chain and contains the list of mushroom species currently allowed to be placed on the market.

At deaths related to mushroom consumption the Government Decree 282/2007 (X. 26.) designates the Nébih as the testing laboratory for the testing of food residues and mushroom residue samples.

4. Presentation of data from 2024 studies

The year 2024 was an outstanding year in terms of the number of cases: 215 incidents were documented, which affected more than 300 people. The temporal and geographical distribution of fungal poisonings, the diversity of causative species, and the serious (in some cases fatal) consequences all support the importance of preventive measures.

Compared to previous years, 2024 showed a significant increase: While 39 cases were reported in 2021, 122 in 2022 and 106 in 2023, the number rose to 215 in 2024, with a particularly striking jump in October (131 cases).

The samples submitted included the following:

- raw mushrooms
- mushroom cleaning waste

- food waste
- vomit
- gastric lavage fluid
- stool sample (in one case)

The test procedures included the identification of macroscopic and microscopic fungal species. The latter was always required for samples of vomit and gastric lavage fluid. In the case of suspected poisoning by *Amanita phalloides* and other amanitin-producing species, the five designated hospital laboratories on duty were carried out amanitin ELISA (enzyme-linked immunosorbent assay) tests on blood and urine samples.

5. Results

5.1. Case numbers and distribution

In our experience, the appearance of fungi gives two peaks every year. The first is in May-June, the second in September-October. These correspond to the highest numbers of poisoning cases. The large number of fungi present gives greater possibility of species confusion. Mushroom poisoning also occurs in other months, but in these cases, mushroom preparations preserved in private households occur in considerable numbers. The highest number of cases occurred **in October** (**131 cases**, **Figure 1**), which is an increase compared to the monthly distribution in recent years, with 11 cases in 2021, 73 in 2022 and 20 in 2023 being investigated in October.

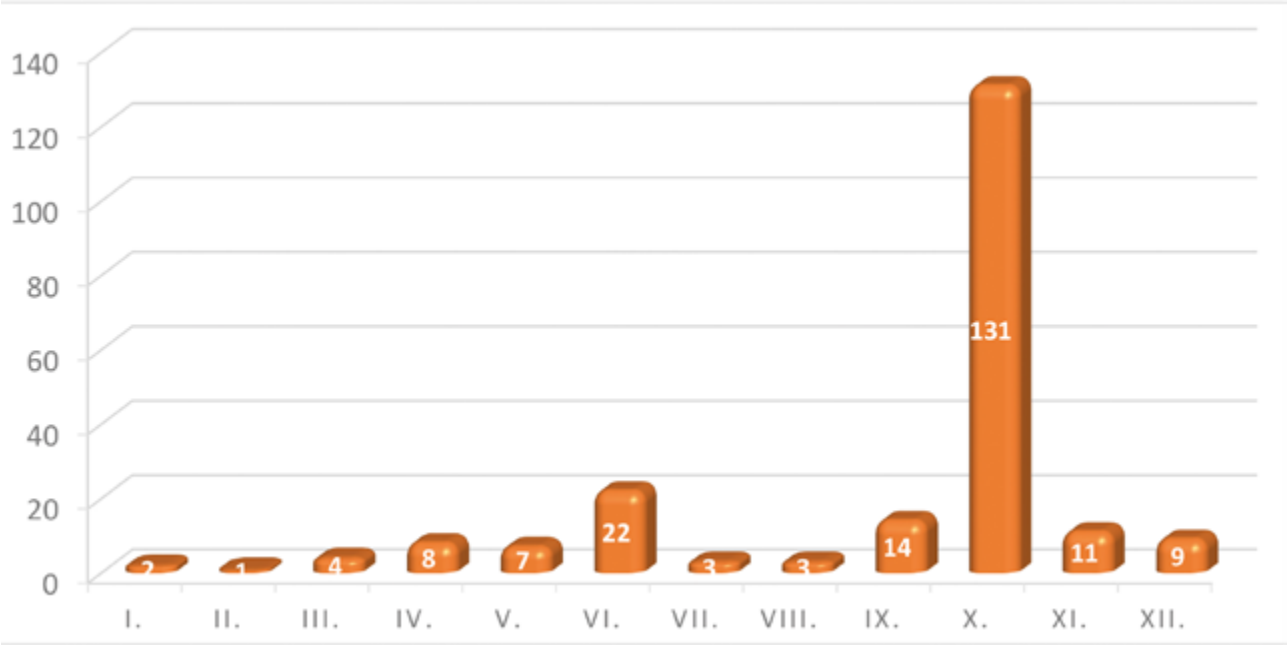


Figure 1: Monthly distribution of fungal poisonings in 2024

5.2. Spatial distribution

Most of the poisoning cases came from the Budapest area (44%), which is explained by the fact that the two hospitals with national toxicological authority, the Péterfy Sándor Street Hospital and Clinic in Budapest for adults and the Heim Pál Children's Hospital for children, provide care for the most serious cases of mushroom poisoning on a national level. For data management reasons, the samples received by our laboratory are grouped by the location of the hospital that sent them, not by the address of the people who became ill. More cases are received annually from hospitals in the high fungus producing areas than from lowland regions. **(Figure 2)**

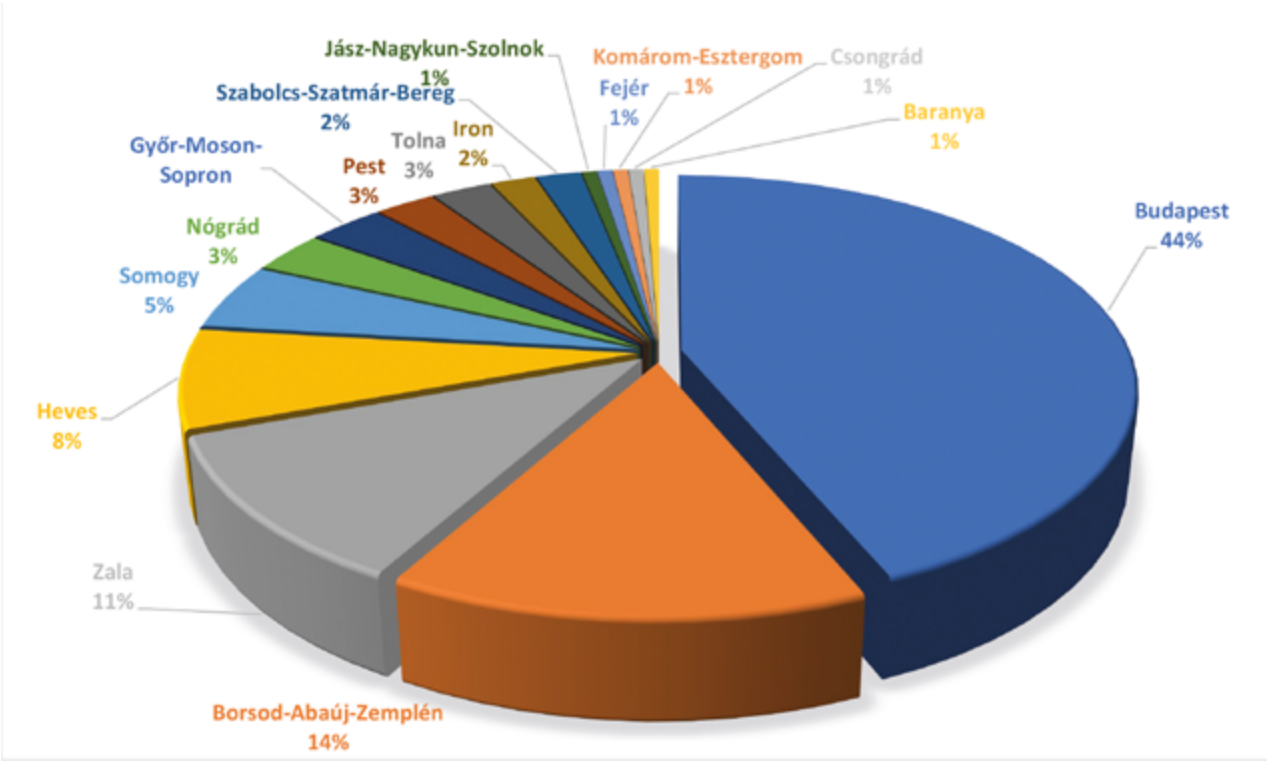


Figure 2: Spatial distribution of fungal poisonings by county 2024

5.3. Distribution by source

Every year, the majority of cases are linked to mushrooms collected by the victims themselves, which accounted for 53% of cases in 2024. It is common practice in Hungary for people to give food as gifts to each other. Mushrooms given as gifts are the second most common cause every year, accounting for 32% of cases in 2024. No information on the origin of the mushrooms was provided in the attached reports marked as unknown, which accounted for 11% of cases. Purchased mushrooms accounted for 2% of cases, and this was the first time in decades that purchased mushrooms caused poisoning. In 2024, there were several cases linked to door-to-door selling (by illegal vendors) of poisonous mushrooms, which had not been typical for years. Mushroom purchased in this way also caused gastrointestinal and deadly amanita poisoning. Spore-negative samples are those in which the vomit and stomach washings did not contain mushroom spores or any identifiable elements, so there was insufficient information to give a result. We reported spore-negative results in five cases throughout the year.

- 53% from its own collection,
- 32% got mushrooms,
- 2% bought,
- 2% bought from a peddler (illegal vendor),
- 11% of unknown origin. (Figure 3)

5.4. Distribution by poisoning type

The breakdown into types of poisoning is carried out according to one of the most commonly accepted groupings in annual statistics, where the following types of poisoning are distinguished:

- cellular weight,
- neurotoxins,
- gastrointestinal toxins,
- other poisonings (e.g. allergic reaction),
- poisonous mushroom in raw form,
- non-edible mushroom species,
- diseases caused by edible fungi (Siller 2005, Siller 2008).

The species grouped by poison type are listed in **Table 1.**

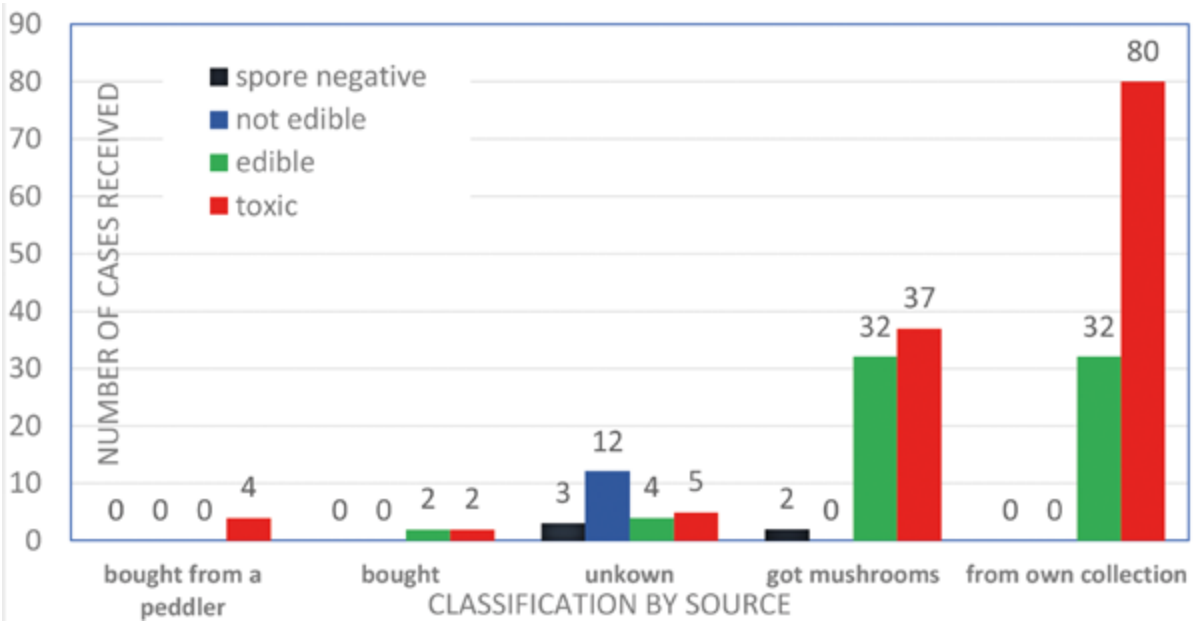


Figure 3: Classification of 2024 test results by source

We have included the types of poisoning listed in the mushroom inspection training material in the table, even in cases where no sample of the mushroom species was sent to the laboratory.

The outstanding fungal species of the year was *Entoloma sinuatum*, which individually caused 45 cases of poisoning. Unfortunately, there were also several cases linked to *Amanita phalloides* and other species containing amatoxin. We document cases of illness occurring after the consumption of edible mushrooms every year and we often meet with *Macrolepiota procera* (14 cases), *Macrolepiota mastoidea* (8 cases), and *Chlorophyllum rachodes* (3 cases) mushrooms due to improper preparation and excessive consumption.

Grouping of samples received by the laboratory by type of poisoning in 2024 I.				
Cellular toxins				
Type of poisoning	**Causative species**	**Case number**	**Poisons**	**Latency period**
1. Amatoxin/ phalloides type poisoning	1.1 *Amanita phalloides*	4	Amatoxins, phallotoxins	6-24 h
	1.1 *Amanita verna*	0	Amatoxins, phallotoxins	
	1.1 *Amanita sp.* (ELISA positive)	5	-	-
	1.2 *Lepiota brunneoincarnata*	1	Amatoxins	6-24 h
	1.2 *Lepiota subincarnanta*	1	Amatoxins	
	1.3 *Galerina marginata*	0	Amatoxins	
2. Gyromitrin type poisoning	*Gyromitra esculenta* and other *Gyromitra* species	0	gyromitrin	
3. Orellanine type poisoning	*Cortinarius orellanus* and other related species	0	orellanin	7-14 days

Grouping of samples received by the laboratory by type of poisoning in 2024 II.				
Neurotoxins				
Type of poisoning	**Causative species**	**Case number**	**Poisons**	**Latency period**
4. Muscarinic type poisoning	*Inocybe asterospora*	1	muscarin	15 minutes-2 hours
	Inocybe rimosa	1		
	Inocybe petiginosa	1		
	Clitocybe rivulosa	1		
	Mycena rosea and other related species	0		
5.*Amanita citrina* type poisoning	*Amanita citrina*	0	bufotenin	15 minutes-2 hours
6. *Amanita muscaria* type poisoning	*Amanita muscaria*	1	ibotenic acid, muscimol, muscazon, muscarinic acid	30 minutes-2 hours
7. *Amanita pantherina* type poisoning	*Amanita pantherina*	1	ibotenic acid, muscimol, muscazon	15 minutes-2 hours
Grouping of samples received by the laboratory by type of poisoning in 2024 III.				
Gastric and intestinal toxins				
Type of poisoning	**Causative species**	**Case number**	**Poisons**	**Latency period**
10. Disease with stomach or intestinal symptoms	*Agaricus bresadolanus Bohus*	9	gastro-intestinal substances	half-3 hours
	Agaricus xanthodermus	11	phenol, diazo and hydrazine compounds	
	Entoloma nidorosum	3	not known	
	Entoloma sinuatum	45	vinylglycine, choline, muscarine	
	Omphalotus olearius	9	illudin	
	Rubroboletus satanas	1	gastro-intestinal substances	
	Russula sp.	22	gastro-intestinal substances	
	Entoloma sinuatum, Agaricus xanthodermus	3	see under species	

Grouping of samples received by the laboratory by type of poisoning in 2024 IV.				
Other poisons and raw poisons				
Type of poisoning	**Causative species**	**Case number**	**Poisons**	**Latency period**
11. Other poisonings	*Paxillus involutus*	1	allergic reaction	1-2 hours
12. Illness caused by raw mushrooms	*Armillarea mellea*	3	melleolid	half-3 hours
	Lactifluus piperatus	1	gastro-intestinal substances	
	Leccinum pseudoscarbum	1	gastro-intestinal substances	
	Leccinum sp.	1	gastro-intestinal substances	
	Morchella esculenta	1	allergic reaction	

Cases caused by inedible mushroom species arriving at the laboratory in 2024	
Mushroom species	**Case number**
Agrocybe pedaides	1
Agrocybe sp.	5
Aurantiporus croceus	1
Conocybe deliquescens	1
Panaeolus papilionaceus	1
Parasola plicatilis	1
Pholiota adiposa	1
Tubaria sp.	1
Cases caused by edible mushroom species arriving at the laboratory in 2024	
Mushroom species	**Case number**
Agaricus augustus	1
Agaricus bisporus	1
Agaricus bitorquis	1
Amanita vittadinii	1
Auricularia auricula-judae	1
Boletus reticulatus	1
Boletus sp.	1
Calocybe gambosa	1

Cantharellus cibarius	2
Chlorophyllum rachodes	3
Clitocybe nebularis	6
Coprinellus micaceus	7
Coprinellus sp.	1
Flammulina velutipes	1
Gymnopus dryophilus	1
Kuehneromyces mutabilis	1
Lactarius deliciosus	1
Lepista personata	1
Lepista sordida	1
Lycoperdon utiforme	1
Macrolepiota mastoidea	8
Macrolepiota procera	14
Suillus granulatus	1
Pleurotus ostreatus	1
Psathyrella candolleana	1
Russula chloroides	1
Russula virescens	1
Tuber excavatum	1
Volvopluteus gloiocephalus	1

5.5. Summary of the test results

The distribution of test results by toxic mushroom species shows a similar pattern every year. The number of cases is usually depends on weather.

There were both genuine and non-genuine cases of mushroom poisoning among cases with and without symptoms. We classified the condition indicated on the forms sent with the samples into symptomatic and asymptomatic cases.

In 2024, 215 mushroom poisoning incidents affected 309 people. Of those involved, 264 people experienced symptoms of illness or discomfort after consumption, while 45 consumers did not experience any symptoms. Most asymptomatic cases involved mushrooms found in yards or gardens and consumed by young children while playing, or cases investigated after consumers sought medical attention due to concerns about mushroom poisoning after consumption.

6. Conclusions and recommendations

6. 1 Conclusions

The experiences of 2024 show that mushroom poisoning continues to pose a serious public health challenge in Hungary. The exceptionally high number of cases in October was probably due to rainy weather conditions favorable for mushrooms. It is worth noting that even edible mushrooms can cause poisoning symptoms if they are stored incorrectly or consumed raw.

The key to effective prevention is public awareness and strengthening the mushroom inspection network.

The complexity of the problem justifies the formulation of future measures at the political, social, and health levels.

6.2 Recommendations

Political recommendations

- Develop a national strategy for the prevention of mushroom poisoning.
- Increase the funding and territorial coverage of the mushroom inspector network.

Measures to raise public awareness

- Launch media campaigns on the potential dangers of mushroom consumption.
- Increase awareness during rainy seasons when mushroom consumption increases.
- Use digital platforms to quickly and widely inform the public.

Public education and awareness

- Introduce educational programs in schools on the basics of mushroom identification.
- Organization of community presentations and local training on safe consumption practices.
- Public education on proper storage and preparation methods to reduce the risk of poisoning associated with edible mushrooms.

Preparing the healthcare system

- Strengthening the capacity of toxicology centers during peak seasonal periods.
- Regular training of emergency personnel on modern therapeutic procedures for mushroom poisoning.

7. Supplementary:

(Siller 2005, Siller 2008)

Edible mushroom species: a species of mushroom that is edible, non-toxic and has no harmful effects on health. When eaten as food, it is tasty, has a pleasant smell, is safe to prepare, and does not become toxic when cooked or fried.

Inedible mushroom species: a mushroom species without known toxins and unfit for consumption. Species may be characterised by a bad, bitter, pungent flavour, featureless, thin, brittle flesh.

Poisonous mushroom: a mushroom species that can cause damage to health or even death if ingested**.** The toxin it contains cannot be eliminated by cooking techniques.

Poisonous mushroom species if eaten raw: a mushroom species that can cause damage to health if eaten raw. With proper heating and other cooking techniques (e.g. drying), the toxins contained can be eliminated.

Fungal poisoning (mycetism): the naturally occurring fungal fruiting body has a toxic effect on the body when ingested as food. The severity is proportional to the amount of fungus ingested and the strength of the toxin. Different active substances produce different characteristic symptom complexes.

Conditions under which poisoning occurs, factors affecting the severity of poisoning:

- Physical and chemical properties of the toxic substance,
- The amount and type of toxins absorbed in the body,
- The time elapsed from consumption until the first symptoms appeared (incubation period),
- The current physical condition of the poisoned person, the individual reaction of the body to the poison,

Food contamination/food poisoning from mushroom food: illness caused by spoiled mushroom food is actually a food poisoning caused by the consumption of improperly collected, stored, prepared mushroom food, due to the proliferation and/or toxin production of microorganisms in the food.

It is recommended to collect only healthy, fresh mushrooms, store them in a well-ventilated place, and use them as quickly as possible. Store prepared mushroom dishes only for short periods and refrigerated.

Individual susceptibility: repeated consumption may cause an allergic reaction in some individuals, with the formation of an antibody to a protein-like substance in the fungus.

Imaginary mushroom poisoning: excessive fear of poisonous mushrooms can lead to psychic symptoms in some people, such as restlessness, rapid heartbeat, salivation and other gastrointestinal symptoms.

Excessive consumption of mushrooms often causes stomach problems, and the mushroom cell wall is not digestible because it contains chitin, so it can be harmful to more sensitive consumers.

8. References

Lévai, J., ed. (1984): Mycotoxicology in public health – textbook for the course on mycotoxicology in healthcare (manuscript). National Institute for Health Education. Budapest.

Siller, I. (2005): Mushroom poisoning. In: Mycological knowledge, course notes, Mycological Communications, Clusiana, Course notes (ed.: Lőkös L., Szántó M.) pp.: 51-76.

Siller, I. (2008): Overview of the most important types of mushroom poisoning and toxins. Mycological Communications, Clusiana (47):1. pp.: 103–118.

62/2003. (X. 27.) ESzCsM decree on the procedure to be followed in the event of foodborne illnesses

107/2011. (XI. 10.) VM Decree on the collection, processing and marketing of wild mushrooms intended for human consumption

282/2007. (X. 26.) Government Decree on the designation of bodies responsible for sectoral requirements in specific fields and on bodies acting exclusively in specific technical matters and providing expert opinions in certain fields

BARÓTI Anasztázia[1], BATHÓ Attila[1]

DOI: https://doi.org/10.52091/EVIK-2025/3-1

Érkezett: 2025 május – Elfogadva: 2025 június

A 2024. évi gombafogyasztás utáni megbetegedési eseteinek tapasztalatai Magyarországon

Kulcsszavak: gombamérgezés, Nébih, amatoxin

1. Összefoglalás

Magyarországon évszázados hagyománya van a vadon termett gombák gyűjtésének és fogyasztásának. A megfelelő gombaismeret hiánya folyamatos kockázatot jelent a fogyasztók számára, ami minden évben, időjárástól függően, akár több száz gombamérgezési esetet is jelenthet évente. A gombák házi tartósításával (szárítás, fagyasztás, konzerválás) már minden hónapban találkozunk gomba okozta megbetegedési esetekkel, nem csak a gombák természetben való megjelenési idejében. Az országban bekövetkező gombamérgezési események kivizsgálásában a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal (Nébih) döntő szerepet játszik. A megbetegedések után a laboratóriumba érkezett minták vizsgálata dönti el, hogy az adott eset gombamérgezési eset, vagy egyéb gombafogyasztást követő rosszullét (meglévő betegség tünete, ételmérgezés, allergiás reakció, képzelt gombamérgezés).

A 2024-es év gombafogyasztás után történő megbetegedéseit és azok laboratóriumi vizsgálati tapasztalatait mutatjuk be a Nébih adatai alapján.

Az év során összesen 215 gombafogyasztás utáni megbetegedésből származó vizsgálati anyag érkezett, amelyben 309 fő és 2 kutya volt érintett. A legtöbb eset októberben történt (131 eset), tapasztalataink szerint ebben a hónapban jellemzően magasabb az eseményszám, a 2024-es évben azonban sajnálatos módon kiugró volt. Az esetek elemzése során különféle megbetegedést okozó fajt azonosítottunk, ideértve az amatoxin tartalmú gombafajok (pl.: *Amanita phalloides*, *Lepiota* spp.), az idegrendszert érintő mérgező gombafajok (pl.: *Inocybe* spp., *Amanita pantherina*), a gyomor-bélrendszert irritáló fajok (pl.: *Entoloma sinuatum*, *Omphalotus olearius*), valamint nyersen mérgező gombák (pl.: *Armillarea mellea*) okozta megbetegedéseket is. A laboratóriumi vizsgálatokat nyers gombából, ételmintákból, hányadékból és gyomormosó folyadékból végeztük.

Az eredmények rávilágítanak az ismeretterjesztés és a megelőzés kiemelt fontosságára, különösen a lakosság körében, mivel a lakosság nem kötelezhető a gombák gyűjtéséhez szükséges tudásanyag megszerzésére.

[1] Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal, Élelmiszerlánc-biztonsági Laboratórium Igazgatóság, Mikrobiológiai Nemzeti Referencia Laboratórium

Anasztázia Baróti barotib@nebih.gov.hu http://orcid.org/0009-0000-1002-0767

Attila Bathó http://orcid.org/0009-0006-0706-6952

2. Bevezetés

A gombamérgezés (micetizmus) a vadon termő gombák fogyasztásához köthető, potenciálisan súlyos, akár halálos kimenetelű megbetegedés, amely továbbra is jelentős közegészségügyi problémát jelent Magyarországon. A gombagyűjtés és -fogyasztás széles körben elterjedt hagyomány, ugyanakkor a lakosság jelentős része nem rendelkezik megfelelő gombaismerettel, ami növeli a mérgezések kockázatát.

A gombamérgezések klinikai megjelenése rendkívül változatos. A tünetek az enyhe gyomor-bélrendszeri panaszoktól a súlyos máj-, vese- és idegrendszeri károsodásig terjedhetnek. A mérgezések súlyosságát elsősorban az elfogyasztott gombafaj, a benne található méreganyag típusa, a fogyasztott mennyiség, valamint a lappangási idő határozza meg. Különösen veszélyesek a sejtmérgeket tartalmazó fajok, amelyeknél a későn jelentkező tünetek ellenére gyors és súlyos szervkárosodás alakulhat ki.

A lakosságra gyakorolt hatás nemcsak az egészségkárosodásban, hanem az egészségügyi ellátórendszer terhelésében is megjelenik. A gombamérgezések legtöbb esetben sürgősségi ellátást igényelnek, toxikológiai megfigyelést, súlyos esetekben intenzív osztályos kezelést. Emellett pszichés tényezők is szerepet játszanak, mivel a gombafogyasztást követő rosszullét gyanúja, vagy a rosszulléttől való félelem sok esetben tünetmentes személyeket is orvoshoz irányít.

A hatósági vizsgálatok kulcsszerepet töltenek be a gombamérgezések kivizsgálásában és elkülönítésében az egyéb, gombafogyasztáshoz köthető rosszullétektől, mint például az ételmérgezés, allergiás reakció vagy képzelt gombamérgezés. A jogszabályi háttér Magyarországon egyértelműen meghatározza a bejelentési kötelezettséget és a laboratóriumi vizsgálatok rendjét, amelyek biztosítják az esetek szakszerű kezelését.

A hatékony betegellátás alapfeltétele a pontos diagnózis felállítása, amelyhez nélkülözhetetlen a laboratóriumi vizsgálat. A makro- és mikroszkópos gombafaj-meghatározás, valamint szükség esetén a toxinvizsgálatok eredményei nemcsak a mérgezés típusának megállapítását teszik lehetővé, hanem közvetlenül befolyásolják a terápiás döntéseket is. A korai és megbízható laboratóriumi eredmények jelentősen javíthatják a lefolyás kimenetelét, különösen a súlyos, késleltetett tünetekkel járó mérgezések esetén.

A gombamérgezések megelőzése, felismerése és kezelése komplex feladat, amelyben a lakossági tájékoztatás, a kórházi gyors és helyes eljárás és a laboratóriumi háttér egyaránt meghatározó szerepet játszik.

3. Irodalmi áttekintés

A vadon termő gombák gyűjtése és fogyasztása hazánkban komoly hagyományokra tekint vissza. Ezzel párhuzamosan azonban továbbra is fennáll a gombamérgezések kockázata, különösen a laikus gyűjtők körében. A Nébih országos szinten végzi gombamérgezés gyanúja esetén a minták laboratóriumi vizsgálatait, melyre a 62/2003. (X. 27.) ESzCsM rendelet hatalmazza fel.

Az 1950-es évektől kezdődően történtek szabályozási lépések az országban történt nagyszámú gombamérgezés miatt. 1953-ban 3000 fő szenvedett gombamérgezést, melyből 300 halálos kimenetelű volt, így szigorú jogi szabályozás létrehozása vált szükségessé. Elsőként a 8200-7/1954 Eü.M rendeletet alkották meg, amely meghatározta a piacon árusítható gombafajokat, szabályozták a szabadon termett gombafajok forgalomba hozatalának feltételeit, valamint a gombamérgezés gyanúja esetén a kötelező bejelentést és kivizsgálást. (Lévai, 1984)

Jelenleg a legfontosabb jogszabályok a 62/2003. (X.27.) ESzCsM rendelet, amely az egészségügyi feladatokat tartalmazza, magába foglalva a gombamérgezés gyanúja esetén szükséges eljárást, valamint a 107/2011. (XI.10.) VM rendelet, mely meghatározza az élmiszerláncba való bekerülés feltételeit, továbbá tartalmazza a jelenleg forgalomba hozható vadon termő gombafajok listáját.

Gombafogyasztással kapcsolatos haláleseteknél a 282/2007. (X. 26.) Korm. rendelet a Nébih-et jelöli ki vizsgáló laboratóriumként ételmaradék és gombamaradvány minta vizsgálatára.

4. A 2024. évi vizsgálatok adatainak bemutatása

A 2024-es év kiemelkedő volt az esetszámok szempontjából: 215 eseményt dokumentáltunk, melyek során több mint 300 érintettről érkezett jelentés. A gombamérgezések időbeli és földrajzi eloszlása, a kiváltó fajok sokfélesége, valamint a súlyos (egyes esetekben halálos) következmények mind a megelőző intézkedések jelentőségét hangsúlyozzák.

A korábbi évek adataihoz képest a 2024-es év jelentős növekedést mutatott: míg 2021-ben 39, 2022-ben 122, 2023-ban pedig 106 esetet jelentettek, 2024-ben ez a szám 215-re emelkedett, különösen az októberi kiugrás volt szembetűnő (131 eset).

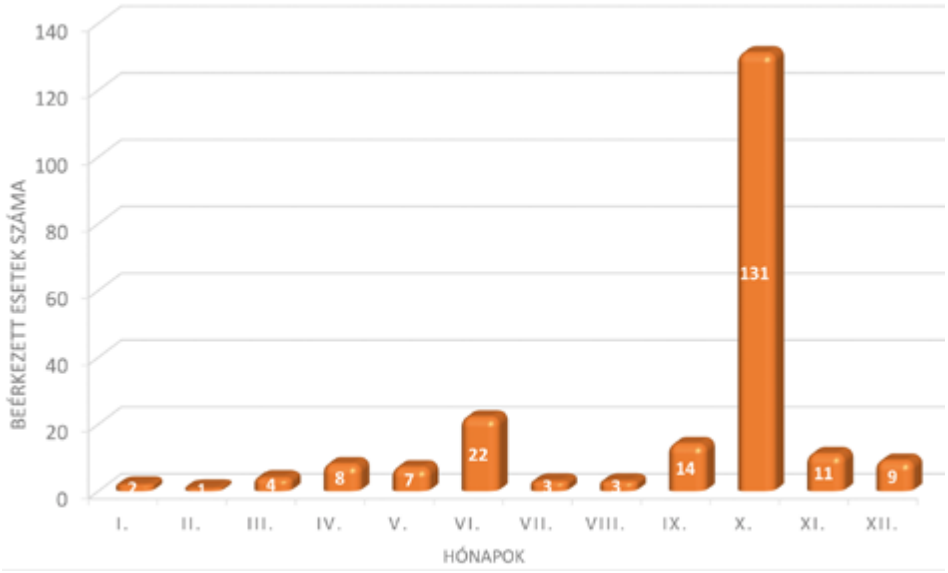
A beküldött minták között szerepeltek:

- nyers gomba
- gomba tisztítási hulladék
- **ételmaradék**
- hányadék
- gyomormosó folyadék
- székletminta (egy esetben)

A vizsgálati eljárások között szerepelt makroszkópos és mikroszkópos gombafaj meghatározás. Utóbbi vizsgálatra hányadék, gyomormosó folyadék minták esetében mindig szükség volt. Gyilkos galóca *(Amanita phalloides)* és a további amanitin termelő fajok okozta mérgezés gyanúja esetén szükséges amanitin ELISA (Enzyme-linked Immunosorbent Assay) vizsgálatokat vér- és vizeletmintákból a kijelölt öt ügyeletes kórházi laboratórium végzi el.

5. Eredmények

5.1. Esetszámok és eloszlás



1. ábra: Gombamérgezési események eloszlása hónapok szerint 2024-ben

A gombák megjelenése tapasztalataink szerint minden évben két megjelenési csúcsot ad. Az első május-júniusra, a második szeptember-október hónapra esik. Ezekkel megegyezően alakul a mérgezési esetszám csúcsok megjelenése is. A sok megjelenő gomba nagyobb lehetőséget ad a fajok tévesztésére. A többi hónapban is történik gombamérgezés, ezekben az esetekben viszont a magánháztartásokban tartósított gombakészítmények is jelentős számban előfordulnak.

A legtöbb eset októberben fordult elő (131 eset, **1.ábra**), ami kiemelkedik az elmúlt évek havi eloszlásához képest. 2021-ben 11, 2022-ben 73 és 2023-ban 20 eset érkezett az októberi hónapokban kivizsgálásra.

5.2. Területi eloszlás

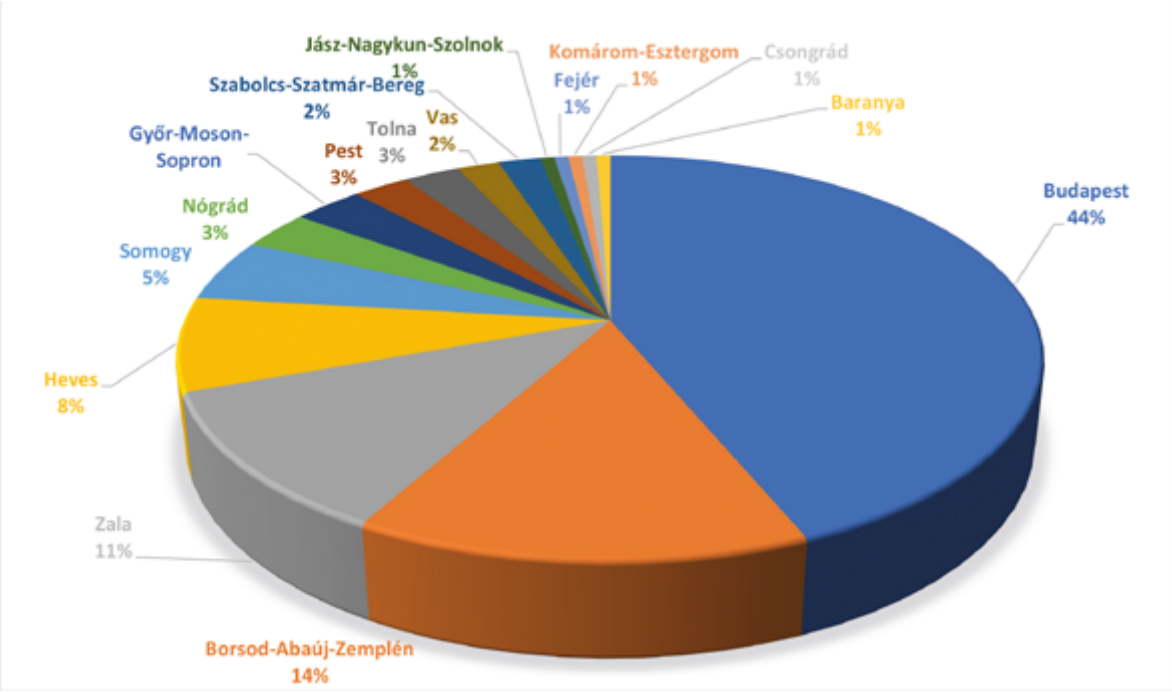
A legtöbb mérgezési eset Budapest területéről (44%) származott, amelyet az indokol, hogy a két országos toxikológiai hatáskörrel rendelkező kórház a Budapesti Péterfy Sándor utcai Kórház és Rendelőintézet a felnőtt embereknél, a Heim Pál Gyermekkórház a gyermekeknél országos szinten látják el a súlyosabb gombamérgezési eseteket. A laboratóriumunkba érkezett minták területi csoportosítása adatkezelési okokól a beküldő kórház székhelye, nem a megbetegedett személyek lakcíme szerint történt. A nagy gombatermő területek kórházaiból éves szinten több eset érkezik, mint az alföldi régiókból. (**2. ábra**)

5.3. Forrás szerinti eloszlás

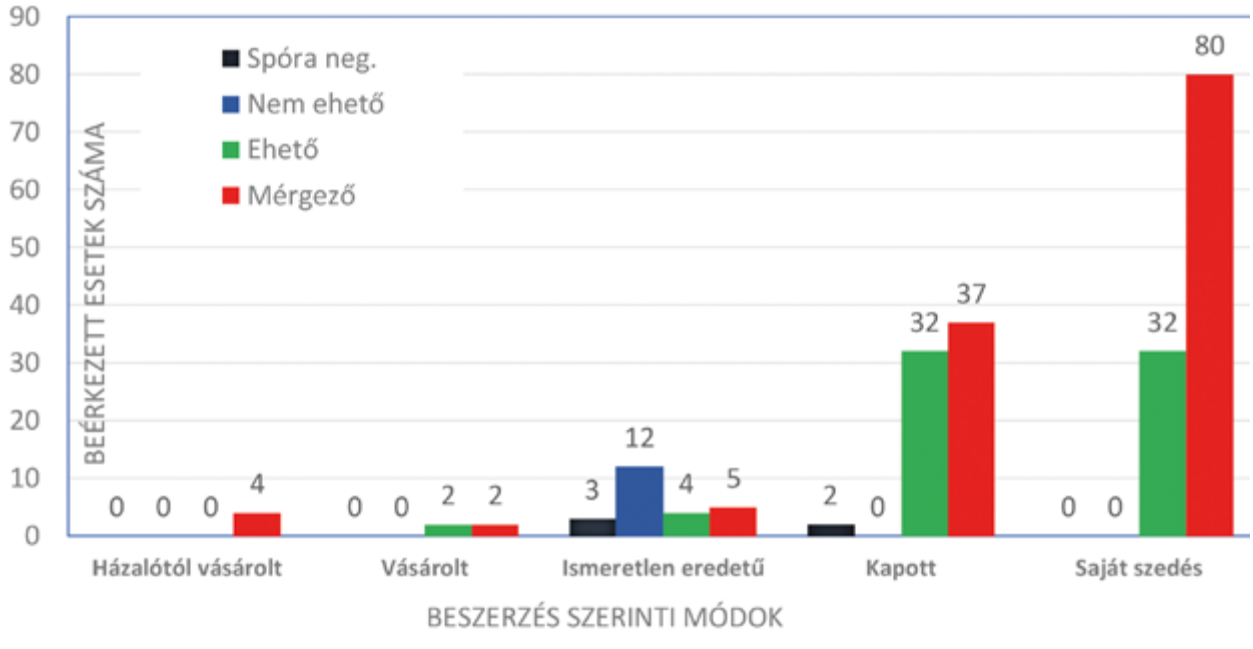
Minden évben az esetek legnagyobb százaléka a saját szedésű gombatételekhez köthető, 2024-ben ez az esetek 53%-a volt. Magyarországon gyakori szokás, hogy élelmiszert ajándékoznak egymásnak az emberek. Az ajándékba adott, megbetegedést okozó gombák vannak minden évben a második helyen, 2024-ben az esetek 32%-a volt ehhez köthető. Az ismeretlen eredetűnek jelölt tételeknél nem tüntettek fel információt a gomba beszerzéséről a csatolt jegyzőkönyveken, ez az esetek 11%-ában állt fenn. A vásárolt gombatételek

2%-ban szerepeltek, több évtized óta először fordult elő, hogy vásárolt gomba okozott mérgezést. 2024-ben több házalás is történt mérgező gombával, ami korábban évekig nem volt jellemző. Gasztrointesztinális és gyilkos galóca típusú mérgezést is okoztak az ily módon beszerzett gombatételek. A spóra negatívként jelölt minták azok a tételek, melyeknél a hányadék, gyomormosó folyadék nem tartalmazott gombaspórát, alakos elemet, így nem állt rendelkezésre elég információ ahhoz, hogy eredményt tudjunk adni. Spóra negatív eredményt az év során 5 esetben kellett jelentenünk.

- **53%** saját gyűjtésből,
- **32%** kapott gomba,
- **2%** vásárolt,
- **2%** házalótól vásárolt,
- **11%** ismeretlen eredetű. (**3. ábra**)



2. ábra: Gombamérgezések területi eloszlása vármegyékre 2024



3. ábra: Gombamérgezések beszerzési módok szerinti megoszlása 2024-ben

5.4. Mérgezési típus szerinti eloszlás

A mérgezési típusokra bontást az évi statisztikában az egyik legáltalánosabban elfogadott csoportosítási mód szerint végezzük, ahol az alábbi mérgezési típusok különülnek el:

- sejtmérgek
- idegmérgek
- gyomor-béltünetes méreganyagok
- egyéb mérgezések (pl. allergiás reakció)
- nyersen mérgező gombafajok
- nem ehető gombafajok
- ehető gombafajok okozta megbetegedések (Siller 2005, Siller 2008)

A mérgezési típusokra csoportosított fajokat az **1. táblázat** tartalmazza.

A gomba-szakellenőri tananyag szerinti mérgezési típusokat olyan esetekben is belefoglaltuk a táblázatba, amikor nem érkezett a gombafajjal kapcsolatban minta a laboratóriumba. Az év kiemelkedő gombafaja a nagy döggomba (*Entoloma sinuatum*) volt, amely önállóan 45 mérgezési esetet okozott. Sajnos a gyilkos galóca (*Amanita phalloides*) és további amatoxin tartalmú fajok is több esetben előfordultak. Ehető gombafogyasztás után fellépő rosszullétet minden évben okoz a nagy őzlábgomba (*Macrolepiota procera*, 14 eset), a karcsú őzlábgomba (*Macrolepiota mastoidea*, 8 eset) és a piruló őzlábgomba (*Chlorophyllum rachodes*, 3 eset) a helytelen elkészítés, mértéktelen fogyasztás miatt.

1. táblázat
A laboratóriumba érkezett minták csoportosítása a mérgezések típusa szerint 2024-ben

Sejtmérgek				
Mérgezési típus	**Okozó faj**	**Esetszám**	**Méreganyag**	**Lappangási idő**
1. Gyilkos galóca típusú mérgezés	1.1 *Amanita phalloides* (gyilkos galóca)	4	Amatoxinok, fallotoxinok	6-24 h
	1.1 *Amanita verna* (fehér galóca)	0	Amatoxinok, fallotoxinok	
	1.1 *Amanita sp*. (ELISA pozitív)	5	-	-
	1.2 *Lepiota brunneoincarnata* (húsbarnás őzlábgomba)	1	Amatoxinok	6-24 h
	1.2 *Lepiota subincarnanta* (rózsás őzlábgomba)	1	Amatoxinok	
	1.3 *Galerina marginata* (fenyves sisakgomba)	0	Amatoxinok	
2. Redős papsapka típusú mérgezés	*Gyromitra esculenta* (redős papsapkagomba) és további *Gyromitra* fajok	0	gyromitrin	
3. Mérges pókhálósgomba típusú mérgezés	*Cortinarius orellanus* (mérges pókhálósgomba) és további rokon fajok	0	orellanin	7-14 nap

1. táblázat
A laboratóriumba érkezett minták csoportosítása a mérgezések típusa szerint 2024-ben

Idegmérgek				
Mérgezési típus	**Okozó faj**	**Esetszám**	**Méreganyag**	**Lappangási idő**
4. Susulyka típusú mérgezés	*Inocybe asterospora* (csillagspórás susulyka)	1	muszkarin	15 perc-2 óra
	Inocybe rimosa (kerti susulyka)	1		
	Inocybe petiginosa (törpe susulyka)	1		
	Clitocybe rivulosa (mezei tölcsérgomba)	1		
	Mycena rosea (rózsás kígyógomba) és további rokon fajok	0		
5. Citromgalóca típusú mérgezés	*Amanita citrina* (citrom galóca)	0	bufotenin	
6. Légyölő galóca típusú mérgezés	*Amanita muscaria* (légyölő galóca)	1	iboténsav, muszcimol, muszkazon, muszkarin	30 perc-2 óra
7. Párducgalóca típusú mérgezés	*Amanita pantherina* (párducgalóca)	1	iboténsav, muszcimol, muszkazon	15 perc-2 óra

Gyomor- és béltünetes méreganyagok				
Mérgezési típus	**Okozó faj**	**Esetszám**	**Méreganyag**	**Lappangási idő**
10. Gyomor-, béltünettel járó megbetegedés	*Agaricus bresadolanus Bohus* (akáccsiperke)	9	gyomor-bélizgató anyagok	fél-3 óra
	Agaricus xanthodermus	11	fenol, diazo- és hydrazin vegyületek	
	(karbolszagú csiperke)			
	Entoloma nidorosum (lúgszagú döggomba)	3	nem ismert	
	Entoloma sinuatum (nagy döggomba)	45	vinilglicin, kolin, muszkarin	
	Omphalotus olearius (világító tölcsérgomba)	9	illudin	
	Rubroboletus satanas (sátántinóru)	1	gyomor-bélizgató anyagok	
	Russula spp. (galambgomba faj)	22	gyomor-bélizgató anyagok	
	Entoloma sinuatum, Agaricus xanthodermus	3	lásd a fajoknál	
Egyéb mérgezések				
Mérgezési típus	**Okozó faj**	**Esetszám**	**Méreganyag**	**Lappangási idő**
11. Egyéb mérgezések	*Paxillus involutus* (begöngyöltszélű cölöpgomba)	1	allergiás reakció	1-2 óra

Nyersen mérgező gombafajok				
Mérgezési típus	**Okozó faj**	**Esetszám**	**Méreganyag**	**Lappangási idő**
12. Nyersen mérgező	*Armillarea mellea* (gyűrűs tuskógomba)	3	melleolid	fél-3 óra
	Lactifluus piperatus (fehértejű keserűgomba)	1	gyomor-bélizgató anyagok	
	Leccinum pseudoscarbum (sötét érdestinóru)	1	gyomor-bélizgató anyagok	
	Leccinum sp. (érdestinóru faj)	1	gyomor-bélizgató anyagok	
	Morchella esculenta (ízletes kucsmagomba)	1	allergiás reakció	

A laboratóriumba érkezett nem ehető gombafajok okozta esetek 2024-ben		
Latin név	**Magyar név**	**Esetszám**
Agrocybe pedaides	sárga rétgomba	1
Agrocybe sp.	rétgomba faj	5
Aurantiporus croceus	sáfrányszínű likacsosgomba	1
Conocybe deliquescens	kérész haranggomba	1
Panaeolus papilionaceus	csipkés trágyagomba	1
Parasola plicatilis	gyenge áltintagomba	1
Pholiota adiposa	nyálkás tőkegomba	1
Tubaria sp.	szemétgomba faj	1
A laboratóriumba érkezett ehető gombafajok okozta esetek 2024-ben		
Latin név	**Magyar név**	**Esetszám**
Agaricus augustus	**óriás csiperke**	1
Agaricus bisporus	kétspórás csiperke	1
Agaricus bitorquis	**ízletes csiperke**	1
Amanita vittadinii	**őzlábgalóca**	1
Auricularia auricula-judae	júdásfülgomba	1
Boletus reticulatus	nyári vargánya	1
Boletus sp.	vargánya faj	1
Calocybe gambosa	májusi pereszke	1
Cantharellus cibarius	sárga rókagomba	2
Chlorophyllum rachodes	piruló őzlábgomba	3
Clitocybe nebularis	szürke tölcsérgomba	6
Coprinellus micaceus	kerti tintagomba	7

Coprinellus sp.	tintagomba faj	1
Flammulina velutipes	téli fülőke	1
Gymnopus dryophilus	rozsdásszárú fülőke	1
Kuehneromyces mutabilis	ízletes tőkegomba	1
Lactarius deliciosus	ízletes rizike	1
Lepista personata	lilatönkű pereszke	1
Lepista sordida	szürkéslila pereszke	1
Lycoperdon utiforme	pikkelyes pöfeteg	1
Macrolepiota mastoidea	karcsú őzlábgomba	8
Macrolepiota procera	nagy őzlábgomba	14
Suillus granulatus	szemcsésnyelű fenyőtinóru	1
Pleurotus ostreatus	kései laskagomba	1
Psathyrella candolleana	fehér porhanyósgomba	1
Russula chloroides	kékeslemezű galambgomba	1
Russula virescens	varashátú galambgomba	1
Tuber excavatum	üreges szarvasgomba	1
Volvopluteus gloiocephalus	ragadós bocskorosgomba	1
Spóra negatív	-	5

5.5. A A vizsgálati eredmények összesítése

A vizsgálati eredmények mérgező gombafaj szerinti megoszlása minden évben hasonló mintázatot mutat. Az esetszám rendszerint időjárásfüggő.

A tünetes és tünetmentes esetek közt volt valódi és nem valódi gombamérgezés is. A mintákkal együtt megküldött formanyomtatványokon feltüntetett állapotot csoportosítottuk tünetes és tünetmentes esetekre.

2024-ben 215 gombamérgezési eseményben 309 személy volt érintett. Az érintettek közül 264 személynél jelentek meg a fogyasztást követően megbetegedési, rosszulléti tünetek, 45 esetben a fogyasztók nem rendelkeztek tünetekkel. A tünetmentes esetek nagyrésze a kisgyerekek által játék közben elfogyasztott, udvaron, kertben talált gombafajok, vagy a fogyasztók gombafogyasztás utáni gombamérgezéstől való aggodalma miatt orvoshoz forduló esetek kivizsgálásából kerültek ki.

6. Következtetések és javaslatok

6.1. Következtetések

A 2024-es év tapasztalatai rámutatnak arra, hogy a gombamérgezések továbbra is komoly közegészségügyi kihívást jelentenek Magyarországon. A kiemelkedően magas októberi esetszám mögött valószínűsíthetően a csapadékos, gombák számára kedvező időjárás állt. Külön figyelmet érdemel az a tény, hogy az ehető gombák is válthatnak ki mérgezési tüneteket helytelen tárolás vagy nyers fogyasztás következtében.

A megelőzés hatékonyságának kulcsa a lakossági ismeretterjesztés és a gombaszakellenőri hálózat erősítése.

A probléma összetettsége indokolja, hogy a jövőbeni intézkedések politikai, társadalmi és egészségügyi szinten egyaránt megfogalmazásra kerüljenek.

6.2. Javaslatok

Szakpolitikai javaslatok

- Országos szintű stratégia kidolgozása a gombamérgezések megelőzésére.
- A gombaszakellenőri hálózat finanszírozásának és területi lefedettségének növelése.

Társadalmi tudatosságot növelő intézkedésekre

- Médiakampányok indítása a gombafogyasztás lehetséges veszélyeiről.
- Szezonális figyelemfelhívás a csapadékos időszakokban, amikor a gombafogyasztás fokozódik.
- Digitális platformok bevonása a gyors és széleskörű lakossági tájékoztatásba.

Lakossági képzés és felvilágosítás

- Oktatási programok bevezetése iskolákban a gombaismeret alapjairól.
- Közösségi előadások és helyi szintű képzések szervezése a biztonságos fogyasztási gyakorlatokról.
- Lakossági képzés a helyes tárolási és elkészítési módszerekről, melyekkel az ehető gombákhoz kapcsolódó mérgezési kockázatok csökkenthetők.

Az egészségügyi ellátórendszer felkészítése

- Toxikológiai központok kapacitásának erősítése a szezonális csúcsidőszakokban.
- Sürgősségi ellátó személyzet rendszeres képzése a gombamérgezések korszerű terápiás eljárásairól.

7. Kiegészítés:

Fogalommagyarázat: (Siller 2005, Siller 2008)

Ehető gombafaj: olyan gombafaj, amely fogyasztásra alkalmas, nem mérgező, nincs egészségkárosító hatása. Táplálékként elfogyasztva ízletes, kellemes illatú, biztonságosan elkészíthető, főzéssel, sütéssel nem válik mérgezővé.

Nem ehető gombafaj: ismert méreganyagot nem tartalmazó, fogyasztásra alkalmatlan gombafaj. Rossz, keserű, csípős íz, jellegtelen, vékony, törékeny hús jellemezheti a fajokat.

Mérgező gombafaj: Olyan gombafaj, amely elfogyasztva egészségkárosodást, akár halált is okozhat. A benne lévő méreganyag konyhatechnikai eljárással nem eliminálható.

Nyersen mérgező gombafaj: olyan gombafaj, amely nyersen elfogyasztva egészségkárosodást okozhat. Kellő hőközléssel és egyéb konyhatechnikai eljárásokkal (pl. szárítás) a benne lévő méreganyag eliminálható.

Gombamérgezés (micetizmus): A természetben előforduló gomba termőtest táplálékként elfogyasztva a szervezetre mérgező hatást gyakorol. **Súlyossága arányban van az elfogyasztott gomba mennyiségével, a méreganyag erősségével. A különböző hatóanyagok más-más jellegzetes tünet-együttest idéznek elő.**

Mérgezés létrejöttének feltételei, a mérgezés súlyosságát befolyásoló tényezők:

- a méreganyag fizikai és kémiai tulajdonsága
- a szervezetben felszívódott méreganyag mennyisége és típusa
- az eltelt idő a fogyasztástól az első tünetek megjelenéséig (lappangási idő)
- a mérgezett személy aktuális fizikai állapota, a szervezet egyéni reakciója a méreganyagra

Ételmérgezés/ételfertőzés gombás ételtől: A romlott gombás étel okozta megbetegedés tulajdonképpen ételmérgezést/ételfertőzést jelent, amely a helytelenül gyűjtött, tárolt, elkészített gombás étel fogyasztásának a következménye, oka a mikroorganizmusok elszaporodása és/vagy toxintermelése az ételben. Ajánlatos csak egészséges, friss gombát gyűjteni, jól szellőző helyen tárolni és lehetőleg gyorsan felhasználni. Az elkészített gombás ételt csak rövid ideig és hűtve tároljuk.

Egyéni érzékenység: egyes személyek szervezetében a többszöri fogyasztás következtében allergiás reakció alakul ki, antitest képződik a gomba valamely fehérjeszerű anyagával szemben.

Képzelt gombamérgezés: a mérgező gombától való túlzott félelem egyes embereknél pszichikai úton vezet tünetek megjelenéséhez, mint nyugtalanság, szapora szívdobogás, nyálzás és további gasztrointesztinális tünetek.

A mértéktelen gombafogyasztás gyakran gyomorpanaszokat okoz, a gombasejtfal, mivel kitin tartalmú, nem emészthető, így arra **érzékenyebb** fogyasztóknak megárthat.

7. Felhasznált irodalom:

Lévai, J., szerk. (1984): Gombatoxikológia a közegészségügyben-tankönyv az egészségügyi gombatoxikológiai tanfolyam részére (kézirat). Országos Egészségnevelési Intézet. Budapest.

Siller, I. (2005): Gombamérgezések. In: Mikológiai ismeretek, tanfolyami jegyzet, Mikológiai Közlemények, Clusiana, Tanfolyami jegyzet (szerk.: Lőkös L., Szántó M.) pp.: 51-76.

Siller, I. (2008): Fontosabb gombamérgezési típusok és toxinok áttekintése. Mikológiai Közlemények, Clusiana (47):1. pp.: 103–118.

62/2003. (X. 27.) ESzCsM rendelet az élelmiszer eredetű megbetegedések esetén követendő eljárásról

107/2011. (XI. 10.) VM rendelet az étkezési célra forgalomba kerülő vadon termett gombák gyűjtéséről, feldolgozásáról, forgalomba hozataláról

282/2007. (X. 26.) Korm. rendelet a szakterületek ágazati követelményeiért felelős szervek kijelöléséről, valamint a meghatározott szakkérdésekben kizárólagosan eljáró és egyes szakterületeken szakvéleményt adó szervekről

SZABÓ Éva[1]✉, Okba HATEM[1,2], István IPACS-SZABÓ[3], László KŐRÖSI[3]

DOI: https://doi.org/10.52091/EVIK-2025/3-2

Érkezett: 2025 május – Elfogadva: 2025 július

A szőlőbogyó polifenolos összetételének változása a borkészítés során

Kulcsszavak: szőlőmag, szőlőhéj, szőlőlé, erjesztés, Cabernet Sauvignon, flavan-3-ol, flavonol, antocianin, sztilbén

1. Összefoglalás

A szőlő nemcsak közkedvelt, de táplálkozástudományi szempontból is kiemelkedően fontos gyümölcsünk. Mind a frissen szedett bogyó, mind pedig a belőle nyert gyümölcslé, illetve az abból erjesztéssel készült bor számos antioxidáns komponenst tartalmaz. Ezek közül az egyik legfontosabb vegyületcsoportot az ún. polifenolok alkotják, melyek kedvező élettani hatását több kutatási eredmény is alátámasztja. Munkánk során azt vizsgáltuk, hogy a szőlőbogyó egyes alkotórészeinek polifenol-összetétele miként változik az alkoholos erjedés, vagyis a borkészítés során. A kísérletben a Cabernet Sauvignon fajta terméséből elkülönített héj-, mag- és lémintákat 18 napon át, több erjedési időpontban gyűjtöttük, a szürettől az erjedés lezárultáig. A nagyhatékonyságú folyadékkromatográfiás (HPLC) analízissel a főbb flavan-3-olok, flavonolok, antocianinok, valamint sztilbének meghatározására fókuszáltunk, míg az összes polifenoltartalmukat Folin-Ciocalteu módszerrel határoztuk meg.

Eredményeink szerint a mag- és héjminták összes polifenoltartalma szignifikánsan csökkent az alkoholos erjedés során, miközben a kioldódott polifenolok a borban felhalmozódtak. A magok minden vizsgált időpontban magasabb polifenoltartalmat mutattak a héjhoz képest. A magokban a flavonoidok közül a flavan-3-olok (katechin és epikatechin) voltak jelen a legnagyobb mennyiségben, míg a héjban az antocianinok (malvidin-3-O-glükozid, delfinidin-3-O-glükozid, petunidin-3-O-glükozid) domináltak.

A borkészítés során, bár jelentős mennyiségben oldódnak ki polifenolok a magból és a héjból, az erjesztés végén a melléktermékként visszamaradt törköly még mindig gazdag e vegyületekben, így értékes alapanyagként szolgálhat további felhasználásra.

[1] Pécsi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar Biokémiai és Orvosi Kémiai Intézet, Pécs

[2] Pécsi Tudományegyetem Egészségtudományi Kar Egészségtudományi Doktori Iskola, Pécs

[3] Pécsi Tudományegyetem Szőlészeti és Borászati Kutatóintézet, Pécs

✉ Levelező szerző

SZABÓ Éva szabo.eva.dr@pte.hu https://orcid.org/0000-0002-3563-2492
Okba HATEM https://orcid.org/0000-0001-5232-1162
KŐRÖSI László https://orcid.org/0000-0003-3138-6041

2. Bevezetés

Hazánk a világ bortermelésének élvonalába tartozik. Az International Organisation of Vine and Wine 2024-es adatai szerint Magyarország a világon a 16., Európában pedig a 8. helyen áll (OIV, 2023). A szőlő kiemelkedően gazdag ún. fenolos vegyületekben. A fenolok egy hat szénatomos aromás gyűrűből, és a hozzá közvetlenül kapcsolódó egy vagy több hidroxil (-OH) csoportból állnak. Az egyszerű fenolok kivételével e vegyületek többsége polifenol (PP) formában fordul elő a növényekben. A PP-k a növények másodlagos anyagcseretermékei, melyek egynél több fenolegységet tartalmaznak (Nurzynska-Wierdak, 2023). A szőlő polifenolos vegyületei két fő csoportra oszthatók: flavonoidok és nem flavonoidok (Giovinazzo and Grieco, 2015). A szőlőbogyó PP-összetételét elsősorban a szőlő genotípusa határozza meg, azonban számos körülmény, mint például a termőhely és az érettségi fok, valamint a biotikus és abiotikus stressz (Martin et al., 2020) szintén befolyásolja. A PP-összetétel a szőlő különböző részein belül is nagy változékonyságot mutat. Ugyanakkor az alkoholos erjedés során a szőlőhéj-, lé- és magminták PP-összetételének dinamikus változásáról mindmáig csak korlátozott mennyiségű adat áll rendelkezésre.

A PP-k fontos szerepet játszanak a növények szaporodásában, valamint a környezeti stresszhatásokkal és kórokozókkal szembeni védekezésben is (Liu, 2013). A PP-k antioxidáns hatása szintén jól ismert. Ezek a bioaktív molekulák képesek semlegesíteni a reaktív oxigénszármazékokat (ROS), valamint prooxidatív fémionokkal kelátkötést kialakítani (Bhuiyan et al., 2017). A PP-k kiemelt szerepet játszhatnak a degeneratív folyamatok, például a daganatok (Bian et al., 2020), a 2-es típusú cukorbetegség (Burton-Freeman et al., 2019), a krónikus gyulladások (Yahfoufi et al., 2018) kockázatának csökkentésében, továbbá az öregedési folyamatok lassításában (Khurana et al., 2013). Emellett gátolják az alacsony sűrűségű lipoproteinek oxidációját és mérséklik a vérlemezkék aggregációját, csökkentve a szív- és érrendszeri, valamint a koszorúér-betegségek kialakulását (Mattera et al., 2017).

Bár számos európai országban termesztett szőlőfajta PP-tartalma és antioxidáns-kapacitása jól dokumentált (Biniari et al., 2020, Martin et al., 2020, Munsch et al., 2024), kifejezetten magyarországi borvidékekről származó minták esetében még viszonylag kevés adat áll rendelkezésre. Korábbi tanulmányainkban több, Magyarországon termesztett szőlőfajta PP-összetételét is elemeztük. Egyik ilyen munkánkban 15 különböző festőszőlő-fajta antocianinprofilját, vagyis fő színanyag-összetevőit hasonlítottuk össze (Korosi et al. 2022). Ezek a pigmentek szintén a PP-k közé tartoznak és a szőlőbogyók piros, illetve kék színéért felelősek. A mintákat a Pécsi Tudományegyetem Szőlészeti és Borászati Kutatóintézetének fajtagyűjteményéből gyűjtöttük. Emellett hazánkban is termesztett négy világfajta (Pinot noir, Cabernet Sauvignon, Syrah, Blue Portugal) PP- és olajtartalmát, valamint antioxidáns-kapacitását vizsgáltuk (Szabo et al. 2021). Utóbbi vizsgálatban azt találtuk, hogy a natív magmintákban nem, kizárólag a fermentációt követően – a törkölyből izolált magokban – volt kimutatható a rezveratrol, a rutin és a kvercetin jelenléte. Ez a megfigyelés felvetette a fermentáció lehetséges szerepét a magok PP-összetételének alakulásában (Szabo et al., 2021). Jelen munkánk célja a fermentáció hatásának részletes vizsgálata a szőlőmag-, héj- és léminták szélesebb körű PP-tartalmára és annak dinamikus változására egy világfajtában, a Cabernet Sauvignonban (CS).

3. Anyagok, módszerek

3.1. Mintagyűjtés

A *Vitis vinifera* cv. Cabernet Sauvignon szőlőfürtöket a Villányi borvidékről, kézi szürettel, a technológiai érettség állapotában gyűjtöttük be. A nemkívánatos növényi részek (levelek, sérült bogyók) eltávolítása érdekében a fürtöket válogattuk, majd egy Zambelli EMME 60 szőlőfeldolgozó gép segítségével lebogyóztuk és a leválasztott bogyókat összezúztuk, ezt követően pedig a kapott friss szőlőcefrét nyitott erjesztőtartályokba helyeztük. A cefréhez fokozatosan 5%-os kálium-metabiszulfit-oldatot adagoltunk, 10 g/hL végső koncentrációig. Emellett 10 g/hL mennyiségben Uvavital™ komplex tápsót is adtunk a rendszerhez, amelyet két nap elteltével azonos dózisban megismételtünk. A spontán erjedést vadélesztők indították el, majd a 6. napon *Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus* fajélesztőt (Lalvin™ EC-1118) oltottunk be a gyártó által ajánlott 20 g/hL dózisban. Az erjedés során a hatékonyabb íz- és színkioldódás biztosítása érdekében a cefrét naponta egyszer átforgattuk úgy, hogy az erjedő cefre levét átpumpáltuk a törkölykalapon.

A 18 napos erjedési idő alatt több időpontban végeztünk mintavételezést. A szüret napján két időpontban, először közvetlenül a szüret után a nem zúzott bogyókból (friss minta), majd az összezúzást követően 3 órával vettünk mintát a szőlőcefréből. Ezt követően a fermentáció 2., 4., 8., 11. és 15. napján gyűjtöttünk törköly- és lémintákat. Az erjedés végén, a 18. napon, a préselés előtt és után is vettünk mintát. A „friss minta" gépi szőlőfeldolgozáson nem esett át, ekkor a bogyókat kézzel dolgoztuk fel, melynek során a héj- és mag eltávolítását követően az elkülönített bogyóhúsból nyertük ki a mustot. Minden időpontban három, az erjesztőtartály különböző pontjairól származó részmintát gyűjtöttünk. A törkölymintákból a magokat és a héjrészeket egyenként, csipesszel különítettük el, míg a gyümölcslevet közvetlenül az erjesztő tartályokból gyűjtöttük. A mintákat folyékony nitrogénben lefagyasztottuk, majd további feldolgozásig -80°C-os fagyasztóban tároltuk.

3.2. Minta-előkészítés

A mag- és héjmintákat 24 órán át liofilizáltuk egy ScanVac CoolSafe 110-4 típusú liofilizáló készülékkel (LaboGene ApS, Allerod, Dánia), majd a szárított mintákat egy kávédarálóval finomra őröltük. A PP-k meghatározása a lé- illetve bormintákból közvetlenül, míg a szőlőmag és szőlőhéj esetén az extrahált mintákból történt. A fagyasztva szárított mag- és héjporból a flavan-3-olok, flavonolok, antocianinok extrakcióját ecetsavval savanyított 70%-os metanol oldattal, míg a sztilbének kivonását 50%-os etanol oldattal hajtottuk végre. A mintákból történő PP-kivonás részletes leírását egy korábbi közleményünk tartalmazza (Hatem et al., 2025). A must- és bormintákat a HPLC-analízis előtt 0,22 µm-es PES fecskendőszűrőn szűrtük át.

3.3. Az összes polifenoltartalom (TPC) meghatározása

Az összes polifenoltartalom meghatározását módosított Folin-Ciocalteu módszerrel végeztük (Korosi et al., 2019). A TPC-t a fagyasztva szárított por egységnyi tömegére vonatkoztatott galluszsav-egyenértékben (mg GAE/g DW) fejeztük ki. A léminták összes polifenoltartalmát a minta egységnyi térfogatára vonatkoztatva szintén galluszsav-egyenértékben adtuk meg (mg GAE/L).

3.4. Polifenolok meghatározása nagyhatékonyságú folyadékkromatográfiával (HPLC)

A HPLC-analízist Shimadzu Prominence rendszeren végeztük. A kalibrációkhoz ismert koncentrációjú nagytisztaságú referenciaanyagokat használtunk (flavan-3-olok: (+)-katechin, (–)-epikatechin; antocianinok: delfinidin-3-*O*-glükozid, cianidin-3-*O*-glükozid, petunidin-3-*O*-glükozid, peonidin-3-*O*-glükozid, malvidin-3-*O*-glükozid; sztilbének: rezveratrol, piceid; flavonolok: miricetin-3-*O*-galaktozid, miricetin-3-*O*-glükozid, kvercetin-3-*O*-galaktozid, kvercetin-3-*O*-glükozid, kvercetin-3-*O*-glükuronid, kempferol-3-*O*-rutinozid, kempferol-3-*O*-glükozid, izorhamnetin-3-*O*-glükozid és kempferol-3-*O*-glükuronid (forgalmazó: Extrasynthese, Genay, France)). Az egyes polifenolkomponenseket retenciós idejük alapján azonosítottuk. A retenciós idők meghatározásakor a mintákhoz tiszta referenciaanyagot adagoltunk. A gyümölcslé- és bormintákban lévő polifenolokat mg/l-ben adtuk meg, míg mag és héj esetén a minta szárazanyag tömegére (DW) vonatkoztatva, µg/g egységben fejeztük ki. A méréseket legalább három ismétléssel végeztük ($n \geq 3$).

3.5. Statisztikai módszer

A statisztikai elemzés az SPSS 26.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) segítségével történt. A többszörös összehasonlításokat egyutas ANOVA (varianciaanalízis) és Tukey HSD post hoc teszt segítségével végeztük, $p < 0,05$-t használva szignifikancia szintnek.

4. Eredmények és értékelésük

4.1. Az összes polifenoltartalom változása

A szőlőmag és a szőlőhéj összes polifenoltartalma friss, nem zúzott mintákban volt a legmagasabb (1. táblázat), majd a bogyók zúzását követően jelentősen csökkent. Az erjedés teljes időtartama alatt a TPC további csökkenését figyeltük meg, és a legalacsonyabb értékeket a 18. napon, a préselést követően mértük mindkét frakcióban. A szőlőlében ezzel ellentétes irányú változás mutatkozott. A friss gyümölcslében mértük a legalacsonyabb értéket, amely már az erjedés 3. órájára növekedést mutatott. A lé összes PP-tartalma az erjedés alatt szignifikánsan emelkedett egészen a 15. napig, majd a legmagasabb értéket a préselés után érte el.

1. táblázat: Az összes polifenoltartalom dinamikus változása a szőlőmag, -héj, és -lé mintákban az erjedés során.

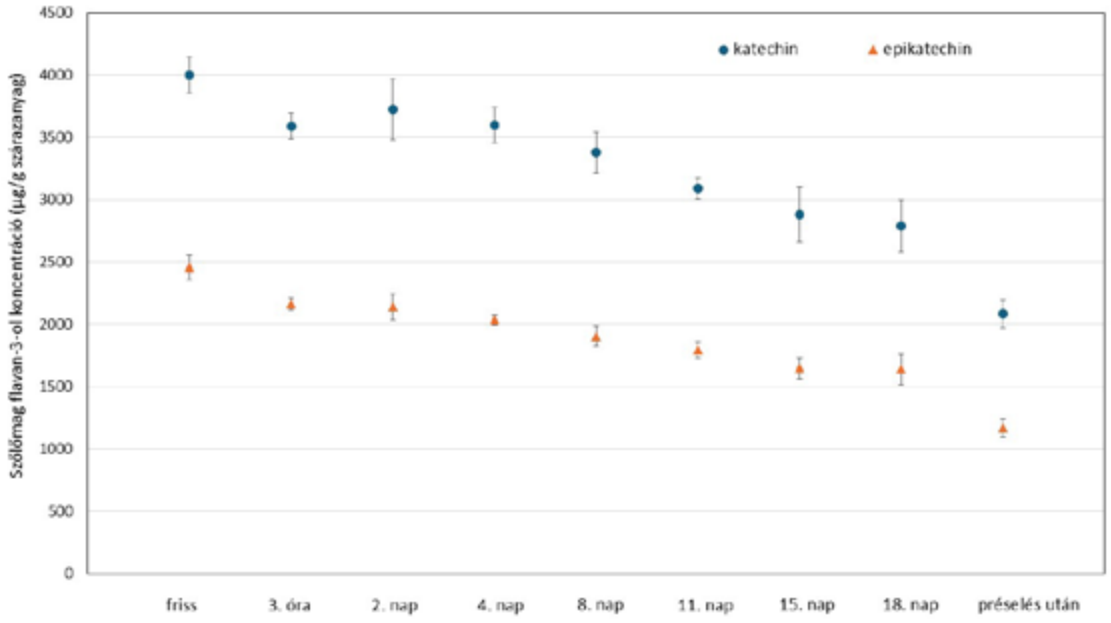
	Szőlőmag (mg GAE / g DW)	Szőlőhéj (mg GAE / g DW)	Szőlőlé/bor (mg GAE / l)
Friss, nem zúzott	87,46 (0,74)	44,71 (2,92)	1307,5 (41,2)
Friss, 3. óra	74,02 (0,34)	34,00 (2,39)	2024,0 (55,5)
2. nap	71,19 (1,66)	32,91 (1,40)	1896,2 (47,3)
4. nap	71,56 (3,20)	32,75 (2,67)	2093,3 (162,2)
8. nap	69,25 (1,12)	30,31 (0,68)	3118,2 (261,8)
11. nap	63,32 (0,87)	24,87 (1,17)	4366,1 (221,9)
15. nap	61,65 (2,36)	23,48 (1,40)	4541,1 (241,5)
18. nap	59,82 (1,99)	23,28 (1,41)	4310,9 (158,0)
Préselés után	54,27 (2,23)	19,61 (0,66)	4875,5 (92,3)

Az adatok átlag (SD) formában szerepelnek.
Rövidítések: GAE: galluszsav-egyenértéke, DW: szárazanyag tömeg

Vizsgálatunkban a mag és a héj TPC-értéke az erjedési folyamat végére mintegy 30%-kal, illetve 50%-kal csökkent a friss, nem zúzott bogyókhoz képest. Bár a PP-k kioldódása jelentős TPC-csökkenést eredményezett a szilárd fázisban, a melléktermékként képződő törköly még ezt követően is értékes PP-forrásnak tekinthető. Ez különösen igaz a szőlőmagra, amely minden egyes időpontban magasabb TPC-értéket mutatott, mint a szőlőhéj. Megfigyeléseink összhangban állnak a szakirodalomi adatokkal, melyek szintén lényegesen magasabb TPC-értéket mutatnak a szőlőmagban, mint a héjban, többek között Brazíliában (Rockenbach et al., 2011, Melo et al., 2015) és Kínában termesztett szőlőfajták esetén is (Tang et al., 2018). A PP-k magból és héjból történő kioldódása várakozásainknak megfelelően a lé TPC-értékének folyamatos növekedését eredményezte az erjedés során.

4.2. A flavan-3-ol vegyületek koncentrációváltozása

A friss, nem zúzott szőlőmagban a katechin és epikatechin volt jelen a legnagyobb koncentrációban (3999,9 ± 147,9 µg/g DW és 2454,7 ± 100,5 µg/g DW), majd mindkét érték szignifikánsan csökkent a zúzás utáni erjesztés 3. órájára (3589,0 ± 108,0 µg/g DW és 2157,9 ± 50,6 µg/g DW; $p < 0,05$), és további folyamatos csökkenést mértünk az erjesztés 18. napjáig (2788,0 ± 210,3 µg/g DW és 1635,5 ± 121,7 µg/g DW). A préselés hatására mindkét érték további szignifikáns csökkenést mutatott a préselés előtti értékekhez képest (2081,4 ± 110,1 µg/g DW és 1167,6 ± 71,1 µg/g DW; $p < 0,05$, 1. ábra). A szőlőhéjból sem a katechint, sem az epikatechint nem tudtuk kimutatni. A friss gyümölcslé szintén nem tartalmazott kimutatható mennyiségű katechint és epikatechint, azonban a katechin a préselés után 3 órával már mérhetővé vált (1,09 ± 0,1 mg/l), míg az epikatechin az erjesztési folyamat 2. napjára (4,4 ± 0,4 mg/l). Ettől kezdve mindkét érték szignifikáns, meredek emelkedést mutatott az erjesztési időszak végéig (katechin: 54 ± 2,7 mg/l és epikatechin 26,3 ± 1,3 mg/l), ami a préselés után tovább növekedett (60,8 ± 1,5 mg/l és 32,4 ± 1,3 mg/l).

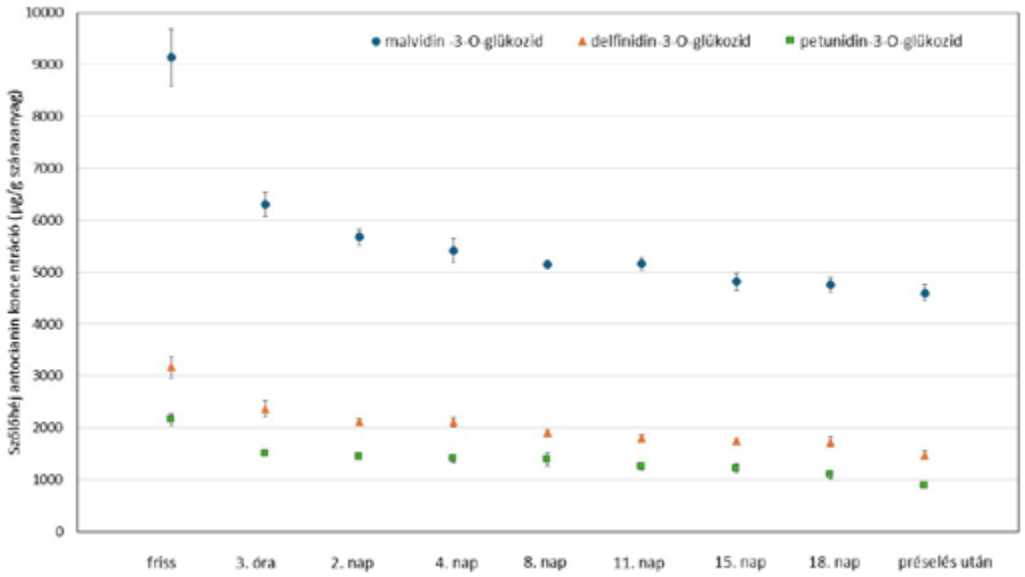


1. ábra: A szőlőmag katechin- és epikatechin-koncentrációjának változása az erjedés során (átlag±SD).

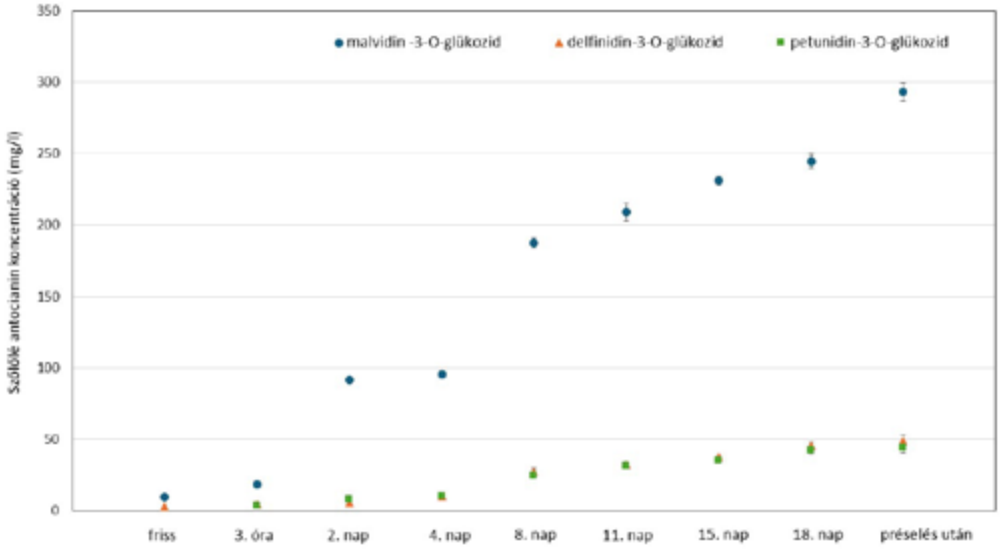
Méréseink alapján a szőlőmag PP-k közül a flavan-3-ol vegyületek domináltak, úgymint a katechin és epikatechin. Ez a megfigyelés összhangban áll a korábban publikált eredményekkel (Rockenbach et al., 2011). A katechin koncentrációja nagyjából másfélszerese volt az epikatechin koncentrációjának a friss, nem zúzott magokban, és ez az arány a különböző fermentációs időknél is megmaradt. Bár Mattivi és munkatársai közleményében szintén a katechin és epikatechin volt a magok flavonoidjainak fő összetevője, esetükben a két vegyület aránya nagyjából 1:1 volt. Továbbá kimutatták, hogy a vörös borszőlők héja flavan-3-olokat is tartalmaz, igaz jóval kisebb koncentrációban, és e csoporton belül a katechin bizonyult a domináns komponensnek (Mattivi et al., 2009). Ezzel szemben a héjmintáinkban a katechin és epikatechin koncentrációi a kimutatási határ alatt voltak, hasonlóan Rockenbach és munkatársai eredményeihez, akik szintén nem tudtak katechint és epikatechint kimutatni a CS héjában (Rockenbach et al., 2011). A friss, nem zúzott mintákból nyert gyümölcslé esetében szintén nem tudtunk sem katechint, sem epikatechint kimutatni, míg más kutatók esetében mindkét vegyület jelen volt a CS friss levében (Mattivi et al., 2009, Lutz et al., 2012). Ez a különbség valószínűleg a minták eltérő előkészítésével magyarázható, mivel vizsgálatunkban a frissen préselt gyümölcslémintákat hámozott és magtalanított bogyóhúsból nyertük, megelőzve a magok sérülését és a katechinek későbbi kioldódását, míg más, korábbi kutatásokban egész bogyókból nyert levet vizsgáltak (Mattivi et al., 2009, Lutz et al., 2012).

4.3. Az antocianinok koncentrációjának változása

Míg a szőlőmagban a katechin és epikatechin volt a két meghatározó polifenolos komponens, addig a szőlőhéjban az antocianinok domináltak. A három legjelentősebb antocianin – a malvidin-3-*O*-glükozid, a delfinidin-3-*O*-glükozid és a petunidin-3-*O*-glükozid – koncentrációja a friss, zúzás előtti héjmintákban rendre 9135,4 ± 560,4 µg/g DW, 3168,8 ± 204,3 µg/g DW és 2152,3 ± 112,4 µg/g DW) volt (**2. ábra**). Ezek az értékek szignifikánsan csökkentek az erjedés során, és szignifikánsan nagyobb értékeket mértünk a közvetlenül préselés előtti mintákból (4761,4 ± 242,1 µg/g DW, 1724,7 ± 101,4 µg/g DW és 1089,4 ± 81,3 µg/g DW), mint a préselés után (4598,2 ± 159,9 µg/g DW, 1471,8 ± 86 µg/g DW és 887,8 ± 11,6 µg/g DW; $p < 0,05$, **2. ábra**). A friss gyümölcslében csak a malvidin-3-*O*-glükozid (9,6 ± 0,3 mg/l) és a delfinidin-3-*O*-glükozid (2,6 ± 0,2 mg/l) mennyiségét tudtuk meghatározni, koncentrációjuk a bogyózúzás után 3 órával szignifikánsan emelkedett (18,4 ± 1,2 mg/l és 4,7 ± 0,3 mg/l; $p < 0,05$). Az erjedés befejeztével a préselés után mértük a legnagyobb értékeket (293,3 ± 6,3 mg/l és 48,8 ± 4,3 mg/l, **3. ábra**).



2. ábra: A szőlőhéj legfontosabb antocianinjainak koncentrációváltozása az erjedés során (átlag±SD).



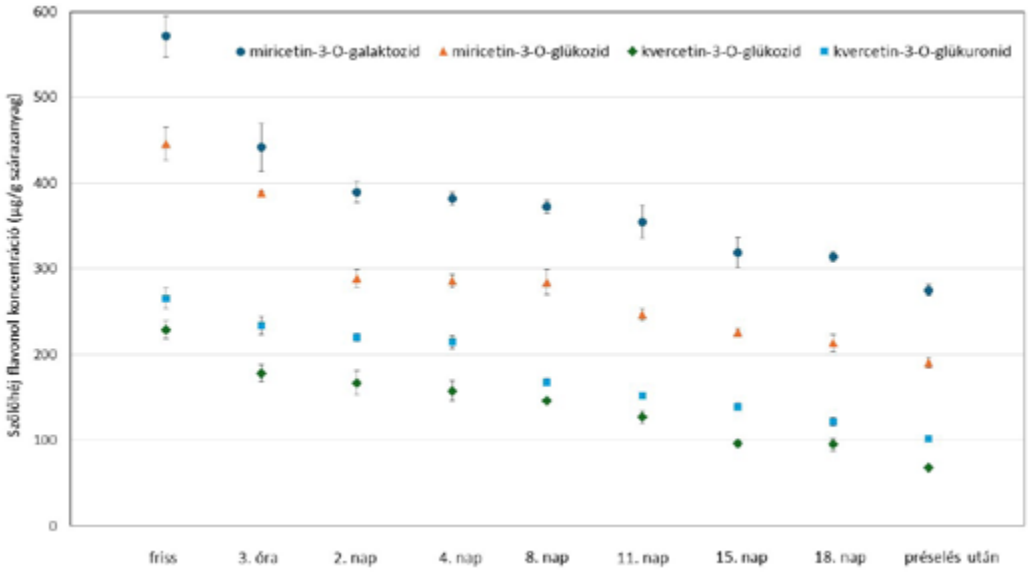
3. ábra: A szőlőlé legfontosabb antocianinjainak koncentrációváltozása az erjedés során (átlag±SD). A petunidin-3-O-glükozid a friss szőlőlében a meghatározási határ alatt volt.

Az antocianinok képesek beavatkozni a baktériumok anyagcsere-folyamataiba, illetve megbontani a sejtfaluk integritását, ezáltal különböző antibakteriális hatást fejtenek ki (Georgiev et al., 2014, Chu et al., 2016). A korábbi adatokhoz hasonlóan vizsgálatunkban is a malvidin-3-*O*-glükozid volt jelen a legmagasabb koncentrációban a friss héjmintában, amelyet a delfinidin-3-*O*-glükozid és a petunidin-3-*O*-glükozid követett (Guaita and Bosso, 2019, Zhang et al., 2020, Petrović et al., 2024). Az erjedés során az antocianinok koncentrációja a kioldódási folyamatok következtében csökkent a héjban. Ez a tendencia összhangban áll a korábbi tanulmányokkal, amelyek szintén alacsonyabb antocianinszinteket mutattak ki a CS-törkölyből izolált héjmintákban a friss mintákhoz

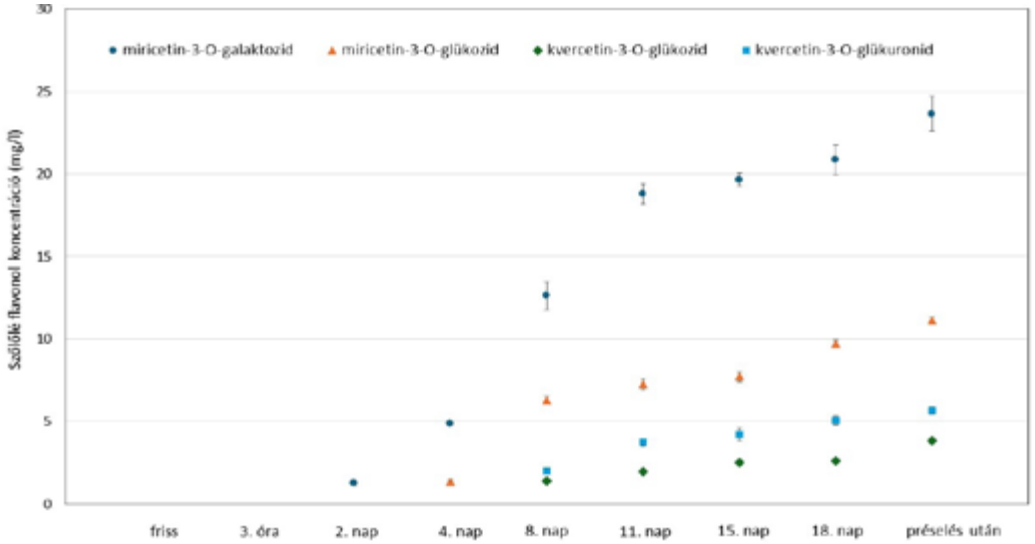
képest (Li et al., 2013, Zhu et al., 2023). A szőlőlé antocianin-tartalma ezzel párhuzamosan az erjedés során folyamatosan növekedett, és a fermentáció végére az egyes antocianinok koncentrációi ugyanazt a sorrendet követték, mint a héjban. Ennek megfelelően a malvidin-3-*O*-glükozid volt jelen a legnagyobb mennyiségben. Ez a megfigyelés szintén egybecseng a korábbi irodalmi adatokkal (Lingua et al., 2016, Petrović et al., 2024).

4.4. A flavonolok koncentrációjának változása

A szőlőmagban a flavonolok közül csak a kvercetin-3-*O*-glükozid volt kimutatható. Ennek koncentrációja a friss, zúzás előtti mintákban volt a legmagasabb (34,9 ± 0,9 µg/g DW), majd az erjedés során szignifikánsan csökkent. A legalacsonyabb értéket a préselés után mértük (25,7 ± 0,5 µg/g DW). A szőlőhéj ezzel szemben jóval gazdagabbnak bizonyult flavonolokban. A friss, nem zúzott minták héjában a miricetin-3-*O*-galaktozid (571,3 ± 23,9 µg/g DW) és a miricetin-3-*O*-glükozid (445,6 ± 19,5 µg/g DW) fordult elő a legnagyobb mennyiségben. Mindkét vegyület koncentrációja már a zúzást követő 3. órára szignifikánsan csökkent (441,6 ± 27,4 µg/g DW és 388,5 ± 1,5 µg/g DW; $p < 0,05$). A legkisebb értékeket az erjedési folyamat végén, a préselést követő mintákban mértük (275,1 ± 6,4 µg/g DW és 190,5 ± 5,9 µg/g DW, **4. ábra**). Nemcsak ennek a két flavonolnak csökkent szignifikánsan az erjedés során a mennyisége a szőlőhéjban, de a kvercetin-3-*O*-glükuronid és a kvercetin-3-*O*-glükozid esetében is hasonló változást láttunk (**4. ábra**). Bár a friss és a zúzás után 3 órával vett szőlőlé mintákban még nem tudtunk flavonolokat kimutatni, az erjedés során értékük szignifikánsan nőtt, a legnagyobb koncentrációt pedig a préselés után kaptunk. A préselt mintákban legnagyobb mennyiségben a miricetin-3-*O*-galaktozid (23,6 ± 1,0 mg/l) és a miricetin-3-*O*-glükozid (11,1 ± 0,2 mg/l) volt jelen (**5. ábra**).



4. ábra: A szőlőhéj legfontosabb flavonoljainak koncentrációváltozása az erjedés során (átlag±SD).



5. ábra: A szőlőlé legfontosabb flavonoljainak koncentrációváltozása az erjedés során (átlag±SD). A miricetin-3-O-galaktozid a friss és 3. órás mintában, a miricetin-3-O-glükozid a friss, 3. órás és 2. napos mintákban, a kvercetin-3-O-glükozid és a kvercetin-3-O-glükuronid a friss, 3. órás, 2. és 4. napos mintákban a kimutatási/meghatározási határ alatt voltak.

A flavonolok antibakteriális hatékonyságot mutatnak mind a Gram-pozitív, mind a Gram-negatív baktériumokkal szemben (Georgiev et al., 2014, Xie et al., 2015). Négy flavonol vegyületet azonosítottunk, melyek a koncentráció csökkenő sorrendjében a miricetin-3-*O*-galaktozid, miricetin-3-*O*-glükozid, kvercetin-3-*O*-glükozid és kvercetin-3-*O*-glükuronid voltak. Egy korábbi spanyol vizsgálatban szintén ez a négy volt a fő flavonol a CS bogyójában és a belőle készült vörösborban (Castillo-Munoz et al., 2007). Egy korábbi tanulmány alapján a szár mellett a szőlőhéj tartalmazott a legnagyobb mennyiségben flavonolokat, többek között kvercetint (Farhadi et al., 2016). A flavonolok szerepet játszanak a növény UV elleni védelmében (Ferreyra et al., 2021). A miricetin-3-*O*-galaktozid és a miricetin-3-*O*-glükozid, a héj legjellemzőbb flavonoljai, a 2. és a 4. napon értek el mérhető szintet az erjedő gyümölcslében, míg a kvercetin-3-*O*-glükozid és kvercetin-3-*O*-glükuronid a 8. napon. Mindegyik általunk vizsgált flavonol koncentrációja folyamatos növekedést mutatott a szőlőlében az erjedés folyamán.

4.5. A sztilbéntartalom változása

A sztilbének közül sem a rezveratrol sem a piceid nem volt kimutatható a magmintákban. A héjban a rezveratrol csak nyomokban volt jelen, míg a piceid szignifikánsan csökkenő értéket mutatott a fermentáció során (2. táblázat). A legnagyobb koncentrációt a friss, nem zúzott szőlő héjában mértük, míg a legkisebbet az erjedés végén. A préselésnek nem volt szignifikáns hatása a héj piceidtartalmára.

Eredményeink összhangban állnak egy korábbi kutatás megállapításaival, amely szerint a rezveratrol nem volt kimutatható sem a CS-törköly magjaiban, sem annak héj frakciójában (Rockenbach et al., 2011).

2. táblázat A piceid változása a szőlőhéjban.

	Szőlőhéj (µg / g DW)
Friss, nem zúzott	74,91 (2,40)
Friss, 3. óra	38,80 (0,69)
2. nap	34,21 (1,45)
4. nap	32,39 (0,41)
8. nap	31,34 (2,24)
11. nap	28,86 (1,83)
15. nap	29,52 (1,99)
18. nap	28,54 (2,04)
Préselés után	26,56 (0,26)

Az adatok átlag (SD) formában szerepelnek, DW: szárazanyag

5. Következtetések

A borászat a hazai élelmiszeripar egyik fontos ágazata, amely évente jelentős mennyiségű borászati melléktermeket termel. Az utóbbi években egyre inkább az érdeklődés középpontjába került a bioaktív vegyületekben, így a PP-kban is bővelkedő szőlőtörköly további hasznosítása, melynek hátterében környezeti és gazdasági szempontok, valamint a természetes alapú összetevők iránti növekvő igény áll. A szőlő PP-összetételét elsősorban a fajta genetikai tulajdonságai határozzák meg (Alonso et al., 2002, Ribeiro et al., 2015, Farhadi et al., 2016), ugyanakkor jelentős szerepe van az éghajlati viszonyoknak, az évjárathatásnak és az adott évszaknak is (Cuneo et al., 2013, Del-Castillo-Alonso et al., 2016). Az összetétel nagymértékben eltér a növény vizsgált részétől függően. A bogyó héja, magja, húsa, illetve más vegetatív részek (pl. levél, szár) markánsan eltérő PP-profilt mutatnak (Alonso et al., 2002; Farhadi et al., 2016). A borkészítés technológiai lépései és az alkalmazott erjesztési módszerek szintén számottevően befolyásolják a PP-k mennyiségét és arányait (Petrović et al., 2024) a mintában. A rendelkezésre álló szakirodalom alapján kutatásunk az első, amely részletesen dokumentálja a TPC és az egyes PP-k dinamikus változásait a CS termésének magjában, héjában és levében, a frissen szüretelt mintáktól kezdve a 18 napos erjesztés végéig több időpontban. Külön kiemelendő, hogy az erjedési folyamat végén közvetlenül préselés előtt, majd utána is mintákat vettünk, hogy a préselés hatását is megvizsgáljuk a minták PP-tartalmára.

Bár az erjesztés csökkenti a szőlőtörköly PP-tartalmát, a borkészítés végén visszamaradó törköly mag- és héjfrakciói még mindig jelentős mennyiségben tartalmaznak PP-kat, így értékes alapanyagként szolgálhatnak további felhasználásra. Vizsgálatunkban a szőlőmag minden időpontban magasabb PP-tartalmat mutatott, mint a szőlőhéj. A PP-ok összetétele is jelentősen eltért az egyes frakciókban: míg a magokban a flavan-3-olok domináltak, addig a héjban az antocianinok fordultak elő legnagyobb mennyiségben. Eredményeink rámutatnak arra, hogy a borkészítés melléktermékei – különösen a szőlőmag – ígéretes és fenntartható forrást jelenthetnek természetes antioxidáns hatóanyagok előállításához.

Felhasznált irodalom

Alonso, A. M.; Guillén, D. A.; Barroso, C. G.; Puertas, B.; García, A. (2002): Determination of antioxidant activity of wine byproducts and its correlation with polyphenolic content. J Agric Food Chem. (50):21. pp.: 5832-5836. DOI: 10.1021/jf025683b

Bhuiyan, M. N.; Mitsuhashi, S.; Sigetomi, K.; Ubukata, M. (2017): Quercetin inhibits advanced glycation end product formation via chelating metal ions, trapping methylglyoxal, and trapping reactive oxygen species. Biosci Biotechnol Biochem. (81):5. pp.: 882-890. DOI: 10.1080/09168451.2017.1282805

Bian, Y.; Wei, J.; Zhao, C.; Li, G. (2020): Natural Polyphenols Targeting Senescence: A Novel Prevention and Therapy Strategy for Cancer. Int J Mol Sci. (21):2. pp.: 684. DOI: 10.3390/ijms21020684

Biniari, K.; Xenaki, M.; Daskalakis, I.; Rusjan, D.; Bouza, D.; Stavrakaki, M. (2020): Polȳphenolic compounds and antioxidants of skin and berry grapes of Greek Vitis vinifera cultivars in relation to climate conditions. Food Chem. (307): pp.: 125518. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125518

Burton-Freeman, B.; Brzezinski, M.; Park, E.; Sandhu, A.; Xiao, D.; Edirisinghe, I. (2019): A Selective Role of Dietary Anthocyanins and Flavan-3-ols in Reducing the Risk of Type 2 Diabetes Mellitus: A Review of Recent Evidence. Nutrients. (11):4. pp.: 841. DOI: 10.3390/nu11040841

Castillo-Munoz, N.; Gomez-Alonso, S.; Garcia-Romero, E.; Hermosin-Gutierrez, I. (2007): Flavonol profiles of Vitis vinifera red grapes and their single-cultivar wines. J Agric Food Chem. (55):3. pp.: 992-1002. DOI: 10.1021/jf062800k

Chu, H.; Tang, Q.; Huang, H.; Hao, W.; Wei, X. (2016): Grape-seed proanthocyanidins inhibit the lipopolysaccharide-induced inflammatory mediator expression in RAW264.7 macrophages by suppressing MAPK and NF-kappab signal pathways. Environ Toxicol Pharmacol. (41): pp.: 159-166. DOI: 10.1016/j.etap.2015.11.018

Cuneo, I.; Salgado, E.; Castro, M.; Cordova, A.; Saavedra, J. (2013): Effects of climate and anthocyanin variables on the zoning of Pinot Noir wine from the Casablanca Valley. Journal of Wine Research. (24):4. pp.: 264-277. DOI: 10.1080/09571264.2013.837384

Del-Castillo-Alonso, M. A.; Castagna, A.; Csepregi, K.; Hideg, E.; Jakab, G.; Jansen, M. A.; Jug, T.; Llorens, L.; Matai, A.; Martinez-Luscher, J.; Monforte, L.; Neugart, S.; Olejnickova, J.; Ranieri, A.; Schodl-Hummel, K.; Schreiner, M.; Soriano, G.; Teszlak, P.; Tittmann, S.; Urban, O.; Verdaguer, D.; Zipoli, G.; Martinez-Abaigar, J.; Nunez-Olivera, E. (2016): Environmental Factors Correlated with the Metabolite Profile of Vitis vinifera cv. Pinot Noir Berry Skins along a European Latitudinal Gradient. J Agric Food Chem. (64):46. pp.: 8722-8734. DOI: 10.1021/acs.jafc.6b03272

Farhadi, K.; Esmaeilzadeh, F.; Hatami, M.; Forough, M.; Molaie, R. (2016): Determination of phenolic compounds content and antioxidant activity in skin, pulp, seed, cane and leaf of five native grape cultivars in West Azerbaijan province, Iran. Food Chem. (199): pp.: 847-855. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.12.083

Ferreyra, M. L. F.; Serra, P.; Casati, P. (2021): Recent advances on the roles of flavonoids as plant protective molecules after UV and high light exposure. Physiol Plant. (173):3. pp.: 736-749. DOI: 10.1111/ppl.13543

Georgiev, V.; Ananga, A.; Tsolova, V. (2014): Recent advances and uses of grape flavonoids as nutraceuticals. Nutrients. (6):1. pp.: 391-415. DOI: 10.3390/nu6010391

Giovinazzo, G.; Grieco, F. (2015): Functional Properties of Grape and Wine Polyphenols. Plant Foods Hum Nutr. (70):4. pp.: 454-462. DOI: 10.1007/s11130-015-0518-1

Guaita, M.; Bosso, A. (2019): Polyphenolic characterization of grape skins and seeds of four italian red cultivars at harvest and after fermentative maceration. Foods. (8):9. DOI: 10.3390/foods8090395

Hatem, O.; Seres-Steinbach, A.; Schneider, G.; Szabó, É.; Kőrösi, L. (2025): Insight into the Phenolic Composition of Cabernet Sauvignon Grapevine Berries During Fermentation—Towards the Application of Winery By-Products for Antibacterial Purposes. Antibiotics. (14):3. pp.: 236. DOI: 10.3390/antibiotics14030236

Khurana, S.; Venkataraman, K.; Hollingsworth, A.; Piche, M.; Tai, T. C. (2013): Polyphenols: benefits to the cardiovascular system in health and in aging. Nutrients. (5):10. pp.: 3779-3827. DOI: 10.3390/nu5103779

Korosi, L.; Bouderias, S.; Csepregi, K.; Bognar, B.; Teszlak, P.; Scarpellini, A.; Castelli, A.; Hideg, E.; Jakab, G. (2019): Nanostructured TiO(2)-induced photocatalytic stress enhances the antioxidant capacity and phenolic content in the leaves of Vitis vinifera on a genotype-dependent manner. J Photochem Photobiol B. (190): pp.: 137-145. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2018.11.010

Li, Y.; Ma, R.; Xu, Z.; Wang, J.; Chen, T.; Chen, F.; Wang, Z. (2013): Identification and quantification of anthocyanins in Kyoho grape juice-making pomace, Cabernet Sauvignon grape winemaking pomace and their fresh skin. J Sci Food Agric. (93):6. pp.: 1404-1411. DOI: 10.1002/jsfa.5907

Lingua, M. S.; Fabani, M. P.; Wunderlin, D. A.; Baroni, M. V. (2016): From grape to wine: Changes in phenolic composition and its influence on antioxidant activity. Food Chem. (208): pp.: 228-238. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.04.009

Liu, R. H. (2013): Health-promoting components of fruits and vegetables in the diet. Adv Nutr. (4):3. pp.: 384S-392S. DOI: 10.3945/an.112.003517

Lutz, M.; Cajas, Y.; Henríquez, C. (2012): Phenolics content and antioxidant capacity of Chilean grapes cv. País and Cabernet Sauvignon. CyTA - Journal of Food. (10):4. pp.: 251-257. DOI: 10.1080/19476337.2011.633244

Martin, M. E.; Grao-Cruces, E.; Millan-Linares, M. C.; Montserrat-de la Paz, S. (2020): Grape (Vitis vinifera L.) Seed Oil: A Functional Food from the Winemaking Industry. Foods. (9):10. pp.: 1360. DOI: 10.3390/foods9101360

Mattera, R.; Benvenuto, M.; Giganti, M. G.; Tresoldi, I.; Pluchinotta, F. R.; Bergante, S.; Tettamanti, G.; Masuelli, L.; Manzari, V.; Modesti, A.; Bei, R. (2017): Effects of Polyphenols on Oxidative Stress-Mediated Injury in Cardiomyocytes. Nutrients. (9):5. pp.: 523. DOI: 10.3390/nu9050523

Mattivi, F.; Vrhovsek, U.; Masuero, D.; Trainotti, D. (2009): Differences in the amount and structure of extractable skin and seed tannins amongst red grape varieties. Australian Journal of Grape and Wine Research. (15):1. pp.: 27-35. DOI: 10.1111/j.1755-0238.2008.00027.x

Melo, P. S.; Massarioli, A. P.; Denny, C.; dos Santos, L. F.; Franchin, M.; Pereira, G. E.; Vieira, T. M.; Rosalen, P. L.; de Alencar, S. M. (2015): Winery by-products: extraction optimization, phenolic composition and cytotoxic evaluation to act as a new source of scavenging of reactive oxygen species. Food Chem. (181): pp.: 160-169. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.02.087

Munsch, T.; Malinowska, M. A.; Unlubayir, M.; Ferrier, M.; Abdallah, C.; Gemin, M. P.; Billet, K.; Lanoue, A. (2024): Classification of grape seed residues from distillation industries in Europe according to the polyphenol composition highlights the influence of variety, geographical origin and color. Food Chem X. (22): pp.: 101362. DOI: 10.1016/j.fochx.2024.101362

Nurzynska-Wierdak, R. (2023): Phenolic Compounds from New Natural Sources-Plant Genotype and Ontogenetic Variation. Molecules. (28):4. pp.: 1731. DOI: 10.3390/molecules28041731

OIV, O. o. V. a. W. (2023). "OIV State of the World Vine and Wine Sector in 2023." Retrieved 11.03.2025., from https://www.oiv.int/sites/default/files/2024-04/OIV_STATE_OF_THE_WORLD_VINE_AND_WINE_SECTOR_IN_2023.pdf.

Petrović, A.; Živković, N.; Torović, L.; Bukarica, A.; Nikolić, V.; Cvejić, J.; Gojković-Bukarica, L. (2024): Comparative Study of the Stilbenes and Other Phenolic Compounds in Cabernet Sauvignon Wines Obtained from Two Different Vinifications: Traditional and Co-Inoculation. Processes. (12):5. pp.: 1020. DOI: 10.3390/pr12051020

Ribeiro, L. F.; Ribani, R. H.; Francisco, T. M.; Soares, A. A.; Pontarolo, R.; Haminiuk, C. W. (2015): Profile of bioactive compounds from grape pomace (Vitis vinifera and Vitis labrusca) by spectrophotometric, chromatographic and spectral analyses. J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci. (1007): pp.: 72-80. DOI: 10.1016/j.jchromb.2015.11.005

Rockenbach, I. I.; Gonzaga, L. V.; Rizelio, V. M.; Gonçalves, A. E. S. S.; Genovese, M. I.; Fett, R. (2011): Phenolic compounds and antioxidant activity of seed and skin extracts of red grape (Vitis vinifera and Vitis labrusca) pomace from Brazilian winemaking. Food Research International. (44):4. pp.: 897-901. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.01.049

Szabo, E.; Marosvolgyi, T.; Szilagyi, G.; Korosi, L.; Schmidt, J.; Csepregi, K.; Mark, L.; Bona, A. (2021): Correlations between Total Antioxidant Capacity, Polyphenol and Fatty Acid Content of Native Grape Seed and Pomace of Four Different Grape Varieties in Hungary. Antioxidants (Basel). (10):7. DOI: 10.3390/antiox10071101

Tang, G. Y.; Zhao, C. N.; Liu, Q.; Feng, X. L.; Xu, X. Y.; Cao, S. Y.; Meng, X.; Li, S.; Gan, R. Y.; Li, H. B. (2018): Potential of Grape Wastes as a Natural Source of Bioactive Compounds. Molecules. (23):10. DOI: 10.3390/molecules23102598

Xie, Y.; Yang, W.; Tang, F.; Chen, X.; Ren, L. (2015): Antibacterial activities of flavonoids: structure-activity relationship and mechanism. Curr Med Chem. (22):1. pp.: 132-149. DOI: 10.2174/0929867321666140916113443

Yahfoufi, N.; Alsadi, N.; Jambi, M.; Matar, C. (2018): The Immunomodulatory and Anti-Inflammatory Role of Polyphenols. Nutrients. (10):11. pp.: 1618. DOI: 10.3390/nu10111618

Zhang, K.; Zhang, Z.-Z.; Yuan, L.; Gao, X.-T.; Li, Q. (2020): Difference and characteristics of anthocyanin from Cabernet Sauvignon and Merlot cultivated at five regions in Xinjiang. Food Science and Technology. DOI: 10.1590/fst.11020

Zhu, L.; Wu, X.; Hu, X.; Li, X.; Lv, S.; Zhan, C.; Chen, Y.; Wang, C.; Xu, J. (2023): Phenolic features and anthocyanin profiles in winemaking pomace and fresh berries of grapes with different pedigrees. Food Sci Biotechnol. (32):2. pp.: 145-156. DOI: 10.1007/s10068-022-01181-1

Éva SZABÓ[1]✉, Okba HATEM[1,2], István IPACS-SZABÓ[3], László KŐRÖSI[3]

DOI: https://doi.org/10.52091/EVIK-2025/3-2

Arrived: April 2025 – Accepted: July 2025

Changes in the Polyphenolic Composition of Grape Berries During Winemaking

Keywords: grape seed, grape skin, grape juice, fermentation, Cabernet Sauvignon, flavan-3-ol, flavonol, anthocyanin, stilbene

Abstract

Grapes are not only widely consumed, but also of great nutritional importance. Both fresh berries, grape juice, as well as wines produced through fermentation contain numerous antioxidant compounds. Among these, polyphenols constitute one of the most significant groups and their beneficial physiological effects have been well demonstrated in several studies. In this work, we investigated how the polyphenolic composition of different grape berry components changes during alcoholic fermentation, i.e., during winemaking. Skin, seed and juice samples were collected over an 18-day period from the Cabernet Sauvignon variety, from harvest to the completion of fermentation. High-performance liquid chromatography (HPLC) was used to quantify the major flavan-3-ols, flavonols, anthocyanins and stilbenes, while the total polyphenol content (TPC) was determined using the Folin–Ciocalteu method.

Our results showed that the total polyphenol content of seed and skin samples decreased significantly during alcoholic fermentation, whereas extracted polyphenols accumulated in wine. At all sampling points, seeds exhibited higher levels of polyphenol than skins. In seeds, flavan-3-ols (catechin and epicatechin) were the predominant flavonoids, while in skins anthocyanins (malvidin-3-O-glucoside, delphinidin-3-O-glucoside, petunidin-3-O-glucoside) were present in the highest concentrations.

Although substantial amounts of polyphenols are released from seeds and skins during winemaking, the grape pomace remaining at the end of fermentation still contains considerable amounts of these compounds, making it a valuable raw material for further utilization.

[1] University of Pécs, Faculty of Medicine, Institute of Biochemistry and Medical Chemistry, Pécs
[2] University of Pécs, Faculty of Medicine, Doctoral School of Health Sciences, Pécs
[3] University of Pécs, Institute of Viticulture and Oenology, Pécs

✉ Corresponding author

Éva SZABÓ szabo.eva.dr@pte.hu https://orcid.org/0000-0002-3563-2492
Okba HATEM https://orcid.org/0000-0001-5232-1162
László KŐRÖSI https://orcid.org/0000-0003-3138-6041

HOFMANN Tamás[1] ✉, **BENKE Dénes**[1], **VISINÉ RAJCZI Eszter**[1]

DOI: https://doi.org/10.52091/EVIK-2025/3-3

Érkezett: June 2025 – Elfogadva: September 2025

Agroerdészeti rendszerekben termelt mezei sóska (Rumex acetosa L.)*, lándzsás útifű* (Plantago lancelota L.) *és kis télizöld* (Vinca minor L.) *antioxidáns összetételének vizsgálata*

Keywords: agrárerdészeti rendszerek, gyógynövények, antioxidáns, polifenol, folyadékkromatográfia, tömegspektrometria

1. Összefoglalás

Jelen munkában a Bajti Nemesítő Telep agrárerdészeti rendszerében, különböző talajtakarási módszerekkel (mulcs, méhlegelő, geotextília) termesztett három gyógynövényfaj: a mezei sóska (*Rumex acetosa* L.), a lándzsás útifű (*Plantago lancelota* L.) és a kis télizöld (*Vinca minor* L.) antioxidáns kapacitásának, polifenolos összetételének és szerves savtartalmának összehasonlító vizsgálatát végeztük el. Azt vizsgáltuk, hogy a különböző talajtakarásoknak van-e valamilyen előnyös hatása a növények antioxidáns tartalmára, mely a jövőbeli élelmiszeripari, humán táplálkozási vagy gyógyszeralapanyagként való hasznosítás szempontjából a legelőnyösebb. Az antioxidáns kapacitást a TPC (Folin-Ciocalteu féle összes polifenol tartalom), a FRAP (vas(III)-ion redukálóképességen alapuló antioxidáns kapacitás) és a DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil gyök reakcióján alapuló) módszerekkel vizsgáltuk. A szerves sav- és a polifenolos összetételt kromatográfiás/tömegspektrometriás eljárással határoztuk meg. Megállapítottuk, hogy a talajtakarási módszerek hatása az antioxidáns kapacitásra és a polifenol tartalomra erősen fajfüggő, valamint bizonyos talajtakarásokkal az antioxidáns tartalom szignifikánsan növelhető. Az eredmények hozzájárulnak az agrárerdészeti rendszerekben termelt gyógynövények kémiai összetételének kutatásához, és az adatok alapul szolgálhatnak a további fajokon végzett kísérletek tervezéséhez.

[1] Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Természetvédelmi Intézet, Sopron

✉ Levelező szerző

HOFMANN Tamás hofmann.tamas@uni-sopron.hu https://orcid.org/0000-0002-1928-7879
BENKE Dénes
VISINÉ RAJCZI Eszter https://orcid.org/0000-0003-0723-9885

2. Bevezetés

A klímaváltozás erősödő hatásai egyre nagyobb kihívások elé állítják mind a mezőgazdálkodást (Aydinalp és Cresser, 2008; Sanchísa és Bello, 2009), mind az erdőgazdálkodást (Gustavsson és mtsai., 2017). Az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodás egyik fontos eleme lesz az újfajta termelési technológiák alkalmazása és gazdálkodási rendszerek bevezetése (Nuwarapaksha és mtsai., 2025). Ilyen alternatív megoldás lehet az agrárerdészeti rendszerek létesítése és az azokban való termelés megvalósítása.

Az agrárerdészet „azon földhasználatok gyűjtőneve, ahol egyazon földrészleten tervezetten termesztenek fás szárú évelő növényeket, mezőgazdasági terményeket és/vagy tartanak állatokat; akár térbeli, akár időbeli eltéréssel" (Lundgreen és Raintree, 1982). Amellett, hogy lehetőség van minőségi faanyag termelésére a terület mezőgazdasági termelésből való kivonása nélkül (Vityi és mtsai., 2018; Kovács és mtsai., 2019; Szigeti és mtsai., 2020) az agrárerdészeti rendszerek számos ökoszisztéma szolgáltatást is nyújtanak (de Jong és mtsai., 2018; Willmott és mtsai., 2023), mint a légköri szén-dioxid megkötése (Calfapitera és mtsai., 2010), a termesztett mezőgazdasági növények védelme a szélsőséges klímahatásoktól (Kaya és mtsai., 2019; Szigeti és mtsai., 2021; Kovács és Vityi 2022), vízerózió és a defláció csökkentése. Emellett segítik a szerves anyagok visszajutását a talajba, valamint növelik a biodiverzitást (Torralba és mtsai., 2016).

Az Európai Unió területén hozzávetőlegesen 15,4 millió ha agrárerdészeti rendszer van, amely legnagyobb része valamilyen haszonállat tartásával kombinálja a fatermesztést. Ezek jelentős része Spanyolország, Görögország, Franciaország, illetve Portugália területén található (den Herder et al., 2017).

Magyarországon az agrárerdészeti rendszerek közül hagyományosan a különböző erdősávok és a fás legelők voltak viszonylag elterjedtek, ám ezek száma ma visszaszorulóban van: hazánkban 38.100 ha területen gazdálkodnak agrárerdészeti rendszerekben (den Herder és mtsai., 2017). A mezőgazdasági területeink magas aránya miatt (az ország területének 55%-a) adottak a lehetőségek a modern agrárerdészeti rendszerek szélesebb körben való alkalmazására, ezzel is hozzájárulva az Európai Unió 2030-as Erdészeti Stratégiájában kitűzött célokhoz (Vityi és mtsai., 2018; Caprile, 2022).

A hagyományos termények (gabonák, kapásnövények, zöldségek, stb.) mellett gyógynövények termesztésére is van lehetőség az agrárerdészeti rendszerekben (Rigueiro-Rodróguez, 2008). Az ilyen módon megtermelt gyógynövények vagy önmagukban használhatóak fel a humán táplálkozásban (élelmiszerekben, étrend-kiegészítőként, friss, szárított stb. készítményként) vagy különböző vegyületcsoportok is kivonhatók belőlük további felhasználásra (Grigore és mtsai., 2015; Bello és mtsai., 2019; Koel és mtsai., 2020).

A különböző gyógynövények és azok hatásai már évezredek óta ismertek, így azokat széles körűen használják a gyógyászatban (Pan és mtsai., 2014). Ezt bizonyítja az is, hogy a világon felhasznált gyógyászati készítmények mintegy negyede növényi eredetű (van Wyk és Wink, 2006). Napjainkban az emberek legalább 80%-a használ valamilyen gyógynövény alapú gyógyszert vagy táplálék kiegészítőt (Ekor, 2014). Az elmúlt évtizedekben megnövekedett a kereslet az ilyen típusú termékek iránt. Európában is megfigyelhető ez a trend, amit az is igazol, hogy az európai gyógynövény piac éves bevétele 2021-ben közel 70 milliárd USD volt (URL 1).

A növények anatómiai felépítése és életműködései nem mindig azonosak, a külső körülmények hatására jelentősen megváltozhatnak. Számos kutatás bebizonyította, hogy az eltérő időjárási paraméterek mellett a növények szövettani felépítése és élettani működése változhat, amely leginkább a szekunder metabolizmus termékeit (extratanyagok) mennyiségét és minőségét érinti (Abreu és Mazzafera, 2005; Zubay és mtsai., 2021). Az azonos rendszertani kategóriákba (családok, rendek stb.) tartozó gyógynövényekről és azok beltartalmi értékeik összehasonlításáról számos publikáció és tanulmány született, azonban az agrárerdészeti rendszerekben termesztett gyógynövények hatóanyagtartalmának vizsgálatáról – különös tekintettel az antioxidánsokra – hiányosak az ismereteink.

Antioxidánsnak nevezzük azokat a vegyületeket, amelyek az oxidálható anyaghoz képest alacsony koncentrációban vannak jelen és jelentősen lassítják vagy megakadályozzák annak oxidációját (Halliwell, 1990). Ezen vegyületek elsődleges fiziológiai szerepe a sejtalkotók védelme a szervezetben keletkező belső vagy bejutó és felszaporodó szabad gyökök káros hatásaitól (Young és Woodside, 2001). Szerkezetüket tekintve lehetnek enzimes és nem-enzimes antioxidánsok. A nem-enzimes antioxidánsok (polifenolok, szerves savak, redukáló cukrok, telítetlen zsírsavak, stb.) nem csak a növényi, állati és emberi szervezet védekezőképességében vesznek részt, hanem meghatározzák pl. a zöldségek, gyümölcsök és a belőlük készített élelmiszerek beltartalmi értékét, színét, tartósságát, stb. így vizsgálatuk élelmiszerminőségi szempontból is kiemelkedő.

Kutatásunk egyedülálló, mivel agroerdészeti rendszerben, különböző talajtakarások mellett termelt gyógynövények antioxidáns tartalmát, illetve polifenol profilját még nem vizsgálták. Jelen munkánkban vizsgáltuk a Bajti Nemesítő Telep agrárerdészeti rendszerében termesztett három gyógynövényfaj (mezei sóska (*Rumex acetosa* L.), lándzsás útifű (*Plantago lancelota* L.) és kis télizöld (*Vinca minor* L.)) antioxidáns tartalmát különböző talajtakarási módszerek mellett. Méréseinkkel arra kerestük a választ, hogy a különböző talajtakarásoknak van-e valamilyen pozitív hatása a növények antioxidáns tartalmára, vagy a kivonatok összetételére. Az antioxidáns tartalmat három módszer segítségével (TPC: Total Phenolic Content, Folin-Ciocalteu-redukáló kapacitás, FRAP: Ferric Reducing Antioxidant Power – vas(III)-ion redukálóképességen alapuló antioxidáns kapacitás, DPPH: 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil gyök reakcióján alapuló antioxidáns kapacitás) mértük és hasonítottuk össze, míg a polifenol-profil és a szerves savak vizsgálatához nagy-nyomású folyadékkromatográfiát/tandem tömegspektrometriát alkalmaztunk.

3. Anyagok és módszerek

3.1 A vizsgált terület bemutatása

A kutatáshoz a mintákat a Bajti Nemesítő Telep területén gyűjtöttük be (Vas vármegye). A telep a Soproni Egyetem és az Erdészeti Tudományos Intézet kezelése alatt áll, célja az erdészeti génmegőrzés és nemesítés. Ezen kívül nyár és fűz szaporítóanyag termelése is zajlik a területen. 2021-ben létrehoztak a telep területén egy agrárerdészeti rendszert is, amelyben köztestermesztésben különböző lágyszárú növényfajok termesztése történik (**1. ábra**). Az agrárerdészeti rendszer területe körülbelül 0,5 hektár, amely kerítéssel van körülvéve a vadkár kizárása céljából. A területen 17 sorban összesen 170 'I-214' fajtájú euroamerikai nyár (*Populus euramericana (Dode) Guiner cv. 'I-214'*) van (Guti, 2023).

A fák között termesztett növények három különböző talajtakarás mellett kerültek elültetésre, ezek a geotextília, a mulcs és a méhlegelő. A geotextília és a mulcs egyaránt kedvezően hat a talaj vízgazdálkodására, és kiegyenlíti a nagyobb hőingadozásokat. Ezen kívül a gyomok kicsírázását is gátolja. A méhlegelő legnagyobb előnyei a talajba való tápanyag visszapótlás és a párásabb mikroklíma létrehozása. A méhlegelő nagyrészt pillangós- (*Fabales*), fészkes- (*Asterales*) és keresztesvirágú (*Brassicales*) lágyszárúakból áll. Mindhárom talajtakarás hátránya azonban, hogy esetleges búvóhelyet biztosíthat a kártevőknek. A kontroll terület a fasorokon kívül, a napsugárzásnak közvetlenül kitett részen helyezkedik el, továbbá semmilyen talajtakarási módszer nincs alkalmazva az itt termesztett lágyszárú növények esetében.



1. ábra: A Bajti agroerdészeti rendszer (balra) és a kontroll terület (jobbra)
Forrás: a szerző felvétele.

3.2 A vizsgált növények bemutatása

A mezei sóska (*Rumex acetosa* L.) a keserűfűfélék (*Polygonaceae*) családjába tartozó lágyszárú évelő növény. Európában általánosan elterjedt, de betelepítés útján eljutott Afrikába, Ázsiába és Észak-Amerikába is. Természetes élőhelye a rét és a kaszáló, de sok helyen termesztik is (Simon és Csapody, 1991). A növény fogyasztása magas ásványianyag- és vitamintartalma miatt igen egészséges, ezért a levelét, szárát és gyökerét egyaránt fogyasztják élelmiszerként (Bae és mtsai., 2012). A mezei sóska ezen kívül többek között antibakteriális, gombaölő, gyulladáscsökkentő és lázcsillapító hatással is bír (Bello és mtsai., 2019.).

A lándzsás útifű (*Plantago lanceolata* L.) az útifűfélék családjába (*Plantaginaceae*) tartozó tőlevélrózsás lágyszárú évelő növény. Az egész világon általánosan elterjedt generalista faj, amely egyaránt megtalálható réteken és legelőkön (Simon és Csapody 1991). A növény egyszerűen termeszthető, mivel mélyre hatoló, erős gyökérzetével, valamint mikorrhiza kapcsolatainak köszönhetően hatékonyan fel tudja venni a tápanyagokat és a vizet a gyenge termőképességű talajokból is (Pol és mtsai., 2021). A lándzsás útifű számos biológiailag

aktív anyagot tartalmaz, amely miatt használata széles körben elterjedt a hagyományos gyógyászatban (Stewart, 1996). A növény jól ismert köhögéscsillapító és hurutoldó hatásáról, ezenkívül alkalmas sebek, rovarcsípések, furunkulusok és hasmenés kezelésére is (Tita és mtsai., 2009; Grigore és mtsai., 2015).

A kis télizöld (*Vinca minor* L.) a meténgfélék (*Apocynacae*) családjába tartozó áttelelő hajtású évelő növény. Kúszó habitusa miatt képes a talajfelszín beborítására, így talajtakaró növénynek kiváló. Természetesen az üde lomberdőkben és szegélyeiken fordul elő, de dísznövényként is sok helyen ültetik. A kis télizöldben található egyik legfontosabb anyag a vinkamin nevű alkaloid, amely gyógyszeripari felhasználásra kerül (Ciorita és mtsai., 2021). A Cavinton® (Richter Gedeon Nyrt.) nevű agyérszűkület gyógyszer hatóanyagát a vinkamin szerkezeti átalakításával állítják elő (Kárpáti és mtsai., 2002). A növényben található egyéb hatóanyagoknak többek között antibakteriális, vércukorszint-csökkentő és vérnyomáscsökkentő hatása is van (Koel és mtsai., 2020), továbbá a kis télizöldből készült gyógyszereket daganatos megbetegedések kezelésére is felhasználják antitumor hatásuk miatt (Zhang és mtsai., 2017).

3.3 Mintavétel és extrakció

Korábbi vizsgálatainkban (Benke és mtsai., 2024; Visiné Rajczi és mtsai., 2024) megállapítottuk, hogy a vegetációs időszak különböző időpontjaiban (tavasz, nyár, ősz) gyűjtött minták közül a tavaszi minták rendelkeznek a legnagyobb antioxidáns kapacitással, ezért a jelen vizsgálatunkban csak tavasszal vettünk mintát.

A mintavétel (2024. május 9.) során 200 gramm leveles hajtást gyűjtöttünk be véletlenszerűen mindegyik vizsgált parcellákból. A mintákat liofilizáltuk (Wave FD260 liofilizáló, Wave Trockensysteme GmbH, Bécs, Ausztria), majd vákuum csomagolva, hűtve tároltuk őket a további feldolgozásig.

Extrakció előtt a mintákat kávédaráló segítségével felaprítottuk és 0,2 gramm mennyiséghez 40 ml metanol:víz 1:1 térfogatarányú elegyét mértük 50 ml-es centrifugacsövekbe. Ezután a mintákat ultrahangos fürdőbe helyeztük 3x10 percre (Elma Transsonic T570 ultrahangos fürdő, Elma Schmidbauer GmbH, Singen, Németország). A 10 perces extrakciós lépések között az ultrahangos fürdő vizét 26 °C-ra állítottuk vissza. A 10 perces időintervallumok leteltével a víz hőmérséklete körülbelül 30 °C volt. A készített extraktumokat centrifugáltuk (2x10 perc, 14.000 1/min fordulatszámon) és a méréseinket a felülúszóból végeztük el.

3.4 Antioxidáns kapacitás meghatározás

Méréseinkhez három módszert alkalmaztunk az antioxidáns tartalom felmérésére: a TPC, FRAP és DPPH módszereket. Mivel mindegyik módszernek megvannak az előnyei, hátrányai és sajátos szelektivitása, ezért önmagában egyik módszer sem ad átfogó eredményt az adott mintáról, ezért ajánlott több különböző módszer használata (Hegedűs és Stefanovitsné, 2012).

3.4.1 TPC módszer

A mérés kivitelezése: 100 µl extraktumhoz 400 µl metanol:víz 1:1 térfogatarányú elegyét, majd pedig 2,5 ml Folin-Ciocalteu reagenst adtunk. Körülbelül 1 perc elteltével 2,0 ml 0,7 M Na2CO3-oldatot pipettáztunk a mintákhoz. Ezt követően 5 percig 50°C-os vízfürdőbe helyeztük az oldatokat, majd visszahűtöttük őket. A kék színű reakcióoldat abszorbanciáját 760 nm-en vizsgáltuk. Mindegyik mintán három párhuzamos mérést végeztünk el. Standard vegyületként galluszsavat használtunk, az eredményeket mg galluszsav egyenérték/g száraz növény mértékegységben adtuk meg (mg GE/g sz.a.).

3.4.2 DPPH-módszer

A mérés kivitelezése: 100 µl extraktumhoz 100 µl metanol:víz 1:1 térfogatarányú elegyét és 2,8 ml DPPH oldatot (80 mM metanolban oldva) adtunk, majd 30 percen keresztül letakarva, sötét helyen tároltuk. Az inkubációs idő elteltével mérjük az abszorbanciát (515 nm). Mindegyik mintán három párhuzamos mérést végeztünk el (Visiné Rajczi és mtsai., 2024). Az antioxidáns kapacitás számszerűsítéséhez trolox standardet használtunk, az eredményeket mg trolox egyenérték/g növényi szárazanyag mértékegységben adtuk meg (mg TE/g sz.a.).

3.4.3 FRAP-módszer

Mérés kivitelezése: A mérés során standard alapján 50 µl extraktumhoz 1,5 ml FRAP-reagenst (vas(III)-klorid, acetát puffer, 2,4,6-tripiridil-s-triazin (TPTZ)) adtunk. A reakcióidőt 5 percben állapítottuk meg, a spektrofotometriás mérést 593 nm-en végeztük (Benzie és Strain 1996). Mindegyik mintán három párhuzamos mérést végeztünk el. Az antioxidáns kapacitás számszerűsítéséhez aszkorbinsavat használtunk standardnak, az eredményeket mg aszkorbinsav egyenérték/g növényi szárazanyag mértékegységben adtuk meg (mg AE/g sz.a.).

3.5 Folyadékkromatográfiás vizsgálatok

A különböző antioxidáns kapacitás meghatározási módszerek egyik kézenfekvő – ám jelentősen idő és költségigényesebb – alternatívája a konkrét antioxidáns vegyületek azonosítása és mennyiségi meghatározása. Ehhez legtöbbször nagy-hatékonyságú folyadékkromatográfiás (HPLC) és azzal kombinált tandem tömegspektrometriás (MS/MS) detektálást alkalmaznak. Vizsgálatainkban kétféle eljárást alkalmaztunk: elvégeztük a szerves savak elválasztását és mennyiségi meghatározását, valamint a polifenolos vegyületek profilozását. Mind a szerves savak mind a polifenolok jelentős mennyiségben vannak jelen a vizsgált növényekben és egyaránt hozzájárulnak az antioxidáns kapacitáshoz. Az elválasztáshoz egy Shimadzu LC-20 (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japán) folyadékkromatográfot használtunk. A detekálás egy diódasoros detektorral (Shimadzu SPD 20M) és egy AB Sciex 3200 QTRAP® LC/MS/MS hármas kvadrupól/lineáris ioncsapda típusú tömegspektrométerrel történt (Sciex, Framingham, USA).

3.5.1 Szerves savak mennyiségi meghatározása

A szerves savakat (oxálsav, citromsav, borkősav és borostyánkősav) egy Bio-Rad Aminex HPX-87H oszlopon (Bio-Rad Laboratories Inc., Hercules, USA) 60 oC hőmérsékleten 0,6 ml/perc áramlású 0,005 M H2SO4 mozgófázissal választottuk el. Az injektált térfogat 20 µl volt. A detektálás és mennyiségi kiértékelés 205-210 nm hullámhosszon történt. Mintánként három párhuzamos mérést végeztünk. Savtartalmakat tömegszázalékban adtuk meg, a bemért száraz növényi mintára vonatkoztatva.

3.5.2 Polifenolok profilozása

A kivonatok elválasztásához egy Phenomenex, Synergy Fusion C18, 2,6 µm, 150 mm x 4,6 mm oszlopot használtunk Phenomenex SecurityGuard ULTRA LC előtétoszloppal. A elválasztást 40 oC-on végeztük el A (víz + 0,1% hangyasav) és B (acetonitril + 0,1% hangyasav) gradiens alkalmazásával (3% B (0-4 min), 6% B (10 min), 20% B (34 min), 57% B (73 min), 100% B (90-98 min), 3% B (99-106 min)) 1,2 ml/min áramlási sebesség mellett. Detektálás: 250-380 nm hullámhossztartományon. A polifenolok profilozása és minőségi azonosítása tömegspektrometriásan történt. Ionforrás paraméterek: negatív elektroporlasztásos ionizáció (ESI), porlasztófeszültség: -4500 V, ionforrás hőmérséklet: 500 oC, függőnygáz (N2) nyomás: 40 psi, porlasztógáz (N2) nyomás: 30 psi, szárítógáz (N2) nyomás: 30 psi. Polifenolok azonosítása: IDA (Information Dependent Analysis) kiértékelés segítségével a 80-1300 m/z tartományon. Tömegspektrumok kiértékelése és a vegyületek azonosítása: RIKEN (Sawada és mtsai., 2012), MassBank és MoNA tömegspektrometriás adatbázisok segítségével történt.

3.6 Statisztikai kiértékelés

Az eredmények összehasonlításához a Statistica 8 nevű szoftvert (StatSoft Inc., Tulsa, USA) használtuk. A számolási módszer Tukey HSD, $p<0,04$, a varianciák homogenitását a Bartlett-próbával ellenőriztük.

4. Eredmények és megvitatásuk

4.1 Antioxidáns kapacitás és szerves savtartalom

A szerves savak közül a szakirodalmak alapján már leírt és bizonyított vegyületek (oxálsav, citromsav, borkősav, borostyánkősav) mennyiségét mértük a mintákban. Ezek a vegyületek is antioxidáns tulajdonságokkal rendelkeznek, így hozzájárulnak a kivonatok antioxidáns kapacitásához (Kayashima és Katayama, 2002; Ye és mtsai., 2011; Singh és mtsai., 2022; Jantwal és mtsai., 2022).

A **mezei sóska** extraktumok antioxidáns kapacitás értékeit és savtartalmát az **1. táblázat** tartalmazza. Mindhárom módszerrel a „mulcs" minták esetében mértük a legnagyobb antioxidáns kapacitást. Az eredmények összehangban vannak az előző években mért eredményeinkkel, melyekben szintén a tavaszi „mulcs" mintákban mértük a legnagyobb antioxidáns kapacitást (Benke és mtsai., 2024; Visiné Rajczi és mtsai., 2024).

A szerves sav tartalmak vizsgálata során szintén a „mulcs" mintákban találtuk a legmagasabb oxálsav, borkősav és borostyánkősav mennyiséget. Ezek a mérési eredmények összhangban vannak az antioxidáns kapacitás méréseink eredményeivel. A citromsav tartalom mérésekor egyik talajtakarási módszer esetében sem mértünk a kontrollhoz képest szignifikánsan magasabb értéket. Az általunk mért oxálsav értékek a szakirodalmi adatokkal összehasonlítható nagyságrendűek. Azonban megjegyzendő, hogy a legtöbb kutatás az oxálsav tartalmat nedves tömegre vonatkoztatva vizsgálja (Tuazon-Nartea és Savage, 2013; Seiner és mtsai., 2020).

1. táblázat: A mezei sóska minták TPC (mg GE/g sza.), FRAP (mg AE/g sza.) és DPPH (mg TE/g sza.) antioxidáns kapacitás értékei (átlag ± szórás) és szerves savtartalma különböző talajtakarások esetében. ko: kontroll, geo: geotextília, méh: méhlegelő. A kontroll értékek félkövér betűtípussal kerültek jelölésre. Egy adott oszlopban a különböző kategóriákba (a-b, a-c, a-b) sorolt minták átlagértékei szignifikánsan eltérnek p<0,04 szinten.

	TPC [mg GE/g sza]	FRAP [mg AE/g sza]	DPPH [mg TE/g sza]	oxálsav [m/m%]	citromsav [m/m%]	borkősav [m/m%]	borostyánkősav [m/m%]
ko.	**29,3 ± 0,4^{a}**	**18,0 ± 0,6^{a}**	**33,8 ± 0,1^{a}**	**3,67 ± 0,08^{a}**	**0,62 ± 0,02^{a}**	**3,04 ± 0,16^{a}**	**0,91 ± 0,08^{ab}**
geo.	31,4 ± 1,1^{a}	20,5 ± 0,4^{b}	36,2± 1,8^{a}	3,89 ± 0,11^{a}	0,46 ± 0,04^{c}	3,30 ± 0,09^{ab}	0,91 ± 0,02^{ab}
mulcs	50,9 ± 0,8^{b}	29,5 ± 1,3^{c}	44,7 ± 2,1^{b}	6,23 ± 0,12^{b}	0,33 ± 0,02^{b}	3,61 ± 0,21^{b}	1,02 ± 0,02^{b}
méh.	29,4± 0,6^{a}	18,8 ± 0,3^{ab}	36,2 ± 2,0^{a}	3,66± 0,13^{a}	0,57 ± 0,02^{a}	2,97 ± 0,12^{a}	0,85 ± 0,01^{a}

A **lándzsás útifű** extraktumok antioxidáns kapacitás és savtartalom értékeit, valamint az eredmények statisztikai kiértékelését a **2. táblázat** foglalja össze. Megállapítottuk, hogy talajtakarási módszerrel sem érhető el szignifikánsan magasabb antioxidáns tartalom a „kontroll" mintákhoz képest. A mérések összhangban vannak a korábbi eredményeinkkel, melyekben szintén a „kontroll" mintáknál mértük a legmagasabb értékeket mindhárom antioxidáns kapacitás mérési módszer esetében (Benke és mtsai., 2024; Visiné Rajczi és mtsai., 2024). A legmagasabb citromsav tartalmat a „mulcs" mintákban, a legmagasabb borostyánkősav tartalmat a „méhlegelő" mintákban mértük. Oxálsavat és borkősavat nem mutattunk ki egyik minta esetében sem, habár más kutatások igazolták az oxálsav jelenlétét a lándzsás útifűben (Guil-Guerrero, 2001; Mondal és mtsai., 2021). Utóbbi kutatás citromsav és borkősav jelenlétét is vizsgálta, de egyiket sem találta meg a növényben. Pankoke and Müller (2013) a növény vizsgálata során borostyánkősavat detektáltak a lándzsás útifűben. A kutatás azt is megállapította, hogy a visszavágás hatására megnő a növényben a borostyánkősav mennyisége.

2. táblázat: A lándzsás útifű minták TPC (mg GE/g sza.), FRAP (mg AE/g sza.) és DPPH (mg TE/g sza.) antioxidáns kapacitás értékei (átlag ± szórás) és szerves savtartalma különböző talajtakarások esetében. ko: kontroll, geo: geostextília, méh: méhlegelő. A kontroll értékek félkövér betűtípussal kerültek jelölésre. Egy adott oszlopban a különböző kategóriákba (a-b, a-c, a-b) sorolt minták átlagértékei szignifikánsan eltérnek p<0,04 szinten.

	TPC [mg GE/g sza]	FRAP [mg AE/g sza]	DPPH [mg TE/g sza]	oxálsav [m/m%]	citromsav [m/m%]	borkősav [m/m%]	borostyánkősav [m/m%]
ko.	**77,8 ± 0,9^{d}**	**56,8 ± 1,0^{d}**	**198,9 ± 1,7^{c}**	**-**	**0,59 ± 0,02^{c}**	**-**	**1,04 ± 0,06^{a}**
geo.	71,5 ± 0,8^{c}	53,0 ± 0,9^{c}	171,8 ± 4,7^{b}	-	0,51 ± 0,01^{b}	-	1,05 ±0,07^{a}
mulcs	57,8 ± 1,2^{b}	46,6 ± 1,5^{b}	155,2 ± 4,8^{a}	-	0,71 ± 0,02^{d}	-	1,06 ± 0,05^{a}
méh.	52,4 ± 1,1^{a}	43,3 ± 0,7^{a}	150,1± 4,2^{a}	-	0,37 ± 0,01^{a}	-	1,24 ± 0,01^{b}

A **kis télizöld** extraktumok mérési eredményeit és a kiértékelést a **3. táblázat** tartalmazza. A kis télizöld tekintetében megállapítható, hogy egyik talajtakarási módszerrel sem érhető el magasabb antioxidáns kapacitás, a kontrollhoz képest, mely eredmények szintén összhangban vannak előző évi méréseinkkel (Benke és mtsai., 2024; Visiné Rajczi és mtsai., 2024). A szerves savak tekintetében egyedül citromsavat sikerült azonosítani, amelyből a legnagyobb mennyiség a „méhlegelő" mintában mértük. Chen és mtsai., (2017) a növény extraktumaiból oxálsavat, borkősavat és borostyánkősavat is ki tudott mutatni. Megjegyzendő ugyanakkor, hogy a kis télizöldben található szerves savakkal foglalkozó irodalmak száma igen alacsony.

3. táblázat: A kis télizöld minták TPC (mg GE/g sza.), FRAP (mg AE/g sza.) és DPPH (mg TE/g sza.) antioxidáns kapacitás értékei (átlag ± szórás) és szerves savtartalma különböző talajtakarások esetében. ko: kontroll, geo: geotextília, méh: méhlegelő. A kontroll értékek félkövér betűtípussal kerültek jelölésre. Egy adott oszlopban a különböző kategóriákba (a-b, a-c, a-b) sorolt minták átlagértékei szignifikánsan eltérnek p<0,04 szinten.

	TPC [mg GE/g sza]	FRAP [mg AE/g sza]	DPPH [mg TE/g sza]	oxálsav [m/m%]	citromsav [m/m%]	borkősav [m/m%]	borostyánkősav [m/m%]
ko.	**31,0 ± 0,6^{c}**	**21,6 ± 0,4^{b}**	**55,8 ± 3,9^{b}**	**-**	**0,05 ± 0,01^{a}**	**-**	**-**
geo.	28,4 ± 1,1^{ab}	18,5 ± 0,3^{a}	50,1 ± 0,6^{ab}	-	0,09 ± 0,01^{b}	-	-
mulcs	29,6 ± 0,6^{bc}	20,1 ± 0,6^{b}	50,1 ± 1,4^{ab}	-	0,16 ± 0,01^{c}	-	-
méh.	27,6 ± 0,2^{a}	17,5 ± 0,9^{a}	44,5 ± 2,2^{a}	-	0,18 ± 0,01^{d}	-	-

4.2 Polifenolos összetétel

A polifenolok növényekben található biológiailag aktív antioxidáns hatású vegyületek, amelyek fő feladata a biotikus (kórokozók és károsítók) és az abiotikus (időjárás, mechanikai sérülések stb.) stresszhatások elleni kémiai védekezés (Mämmela, 2001; Lu és mtsai., 2019). A polifenolos vegyületek közös jellemzője, hogy alapjukat egy fenolváz képezi, amihez különböző molekulacsoportok kapcsolódnak (Tálos-Nebehaj, 2017). A több mint 8000 féle polifenolnak többféle csoportosítása létezik, a főbb csoportok a fenolos savak, a flavonoidok, a stilbének, a fenolos alkoholok és a lignánok (Abbas és mtsai., 2017; Watson, 2019). Az elmúlt évtizedekben számos tanulmány bizonyította, hogy a polifenolokban gazdag ételek fogyasztása az emberi szervezetre kedvező hatással van. Az ilyen ételek többek között csökkentik a szív- és érrendszeri betegségek, az elhízás vagy a cukorbetegség kialakulásának esélyét (Rasouli és mtsai., 2017).

A kivonatok főbb polifenolos összetevőit a **4. táblázat** foglalja össze, a kromatogramokat a melléklet M1-3 ábrái szemléltetik. A kromatográfiás elválasztással kapott kromatogramok csúcsaihoz tartozó tömegspektrumok kiértékelése során összesen 60 vegyület szerkezetét vizsgáltuk és azonosítottunk. A kromatogramok és az egyes vegyületek csúcsainak összevetése kvázi-kvantitatív, melyek során egy reprezentatív kromatogramot értékeltünk ki figyelembe véve a kromatográfiás elválasztás és UV detektálás reprodukálhatóságát és következtetéseinket az antioxidáns kapacitás mérésekkel összehangban vontuk le. Az egyes vegyületek pontos mennyiségi meghatározását és a koncentrációk minták közötti összehasonlítását standard vegyületek segítségével jelen vizsgálatban nem végeztük el.

A mezei sóska esetében 19 féle vegyületet sikerült azonosítani. A mérés során a mintákban kávésavat és rutint sikerült detektálni, illetve nagy számban fordultak elő a kvercetin-, ferulasav-, kávésav-származékok, klorogénsav izomerek és *p*-kumaroilkínasav izomerek. Feduraev és mtsai., (2022) a mezei sóska HPLC-s vizsgálata során szintén kimutattak a növény extraktumaiból rutint, kvercetin származékokat és kávésavat. Ugyanez a kutatás standard vegyületek segítségével a kromatográfiás elválasztás során klorogénsavat is azonosított a mezei sóska kivonatokból. Li és mtsai., (2022) megállapították, hogy a kvercetin származékok egyéb *Rumex* fajokban is gyakran előforduló vegyületek. Ugyanakkor Irtegün Kandemir és mtsai., (2024) juhsóska (*Rumex acetosella*) vizsgálata során kvercetint és klorogénsavat nem tudtak kimutatni a növényből.

Az UV (250-380 nm) kromatogramok csúcsait összehasonlítva – amelyek arányosak a mintákban található vegyületek mennyiségével – elmondható, hogy a mezei sóska esetében a legnagyobb mennyiségben előforduló vegyületek a *p*-kumaroilkínasav izomerek **(5, 7),** a **30 és 40** számú kvercetin-származék voltak.

A kromatográfiás elválasztás eredményei összhangban vannak az antioxidáns kapacitás méréseink eredményeivel. A kromatogramon kiugróan magas csúcsok annál a talajtakarási módszernél jelentkeztek, ahol az antioxidáns tartalom is magasabb volt a többi mintánál. Vizsgálataink során kávésavból **(2)**, a **3** számú klorogénsav izomerből, *p*-kumaroilkínasav izomerekből **(5, 7)**, a **10** számú ismeretlen vegyületből, illetve a **41** számú kvercetin-származékból a „mulcs" mintákban detektáltuk a legnagyobb csúcsokat. A profilozás során mintánként egy mérés történt, így statisztikai kiértékelést a csúcsterületekre nem végeztünk, ennek ellenére a „mulcs" mintáknál a csúcsterületek szembetűnő emelkedése a kontroll mintához képest feltételezhetően szignifikáns különbséget jelez, melyet az antioxidáns kapacitási értékekben (ld. **1. táblázat**) kimutatott szignifikáns különbségek igazolnak.

Több kutatás is igazolta, hogy a növények antioxidáns kapacitása és a bennük található fenolos komponensek mennyisége között pozitív korreláció áll fenn (Nazaruk és mtsai., 2008; Wijngaard és mtsai., 2009). Ezt az összefüggést *Rumex* fajok esetében Wegiera és mtsai., is bizonyították (2010).

A **lándzsás útifű** vizsgálata során 21 féle vegyületet azonosítottunk, köztük kávésavat és számos kávésav származékot. Ezen kívül a mintákban jelen voltak klorogénsav izomerek, galluszsav származékok, *p*-kumaroilkínasav izomerek és ferulasav származékok. A lándzsás útifűben több kutatás során is kimutattak kávésavat, klorogénsavat, galluszsavat és ferulasavat (Beara és mtsai., 2012; Nichita és mtsai., 2016; Bahadori és mtsai., 2020). A legnagyobb mennyiségben a **27,** a **29 és a 35** számú kávésav származék, illetve a **34** számú ismeretlen vegyület volt jelen az extraktumokban.

A lándzsás útifű esetében a kromatográfiás elválasztás során egyik talajtakarási módszer esetében sem tapasztalható, hogy valamelyik polifenolos vegyületből számottevően magasabb mennyis**ég** (magasabb kromatográfiás csúcs) lenne jelen. Habár az antioxidáns kapacitás meghatározás során (**2. táblázat**) mindhárom módszer esetében a „kontroll" minták rendelkeztek a legmagasabb értékkel, a kromatogram más tendenciát mutat. Ennek magyarázata az lehet, hogy a különböző antioxidáns hatású polifenolok – ugyanazon módszerrel mérve is – eltérő antioxidáns kapacitást mutatnak (Galato és mtsai., 2001), vagy az, hogy más nem polifenolos vegyületek is jelen vannak a lándzsás útifű kivonatában, melyek vizsgálata nem történt meg. Ilyen pl. a lándzsás útifű levelében jelentős (5-20 mg/g sz.a.) mennyiségben előforduló és antioxidáns hatással is rendelkező aukubin (Pol és mtsai., 2024).

A **kis télizöld** esetében 25 vegyületet sikerült azonosítani. A növény extraktumaiban számos *p*-kumársav-, ferulasav-, kínasav- és kvercetin származék és klorogénsav izomert mutattunk ki. Ciorita és mtsai., (2021) jelentős mennyiségű klorogénsavat, továbbá kávésavat és kisebb mennyiségben rutint és kvercetint is azonosítottak az extraktumokban. Sezer és mtsai., (2018) a kis télizöld vizsgálata során szintén klorogénsavat, kvercetint és kávésavat mutatott ki legnagyobb mennyiségben. A kis télizöldben található polifenolos vegyületekkel foglalkozó irodalom viszonylag kis számú, mivel a publikációk főleg a növény fő hatóanyagával **(**a vinkamin névű alkaloiddal és egyéb alkaloid vegyületekkel) foglalkoznak (Dimitrescu és mtsai., 2021).

A méréseink alapján a vizsgált mintákban legnagyobb csúcsot az **1** számú dihiroxibenzoesav származék adta. Ezenkívül még a **19** számú kvercetin származékot és a **20 és 22** számú kempferol származékokat találtuk meg nagy mennyiségben.

A kis télizöld extraktumok kromatogramjairól elmondható, hogy igazodik az antioxidáns tartalom vizsgálatok során kapott eredményekhez – habár a talajtakarások közt szignifikáns eltérést csak a FRAP módszer esetébe kaptunk. A „kontroll" és a „mulcs" minták görbéi némileg magasabb értékeket vesznek fel, számottevő különbség egyetlen esetben áll fenn. Az egyetlen kiugró csúcs a **19** számú kvercetin származékhoz tartozik, amelyből a „kontroll" mintában volt a legintenzívebb.

4. táblázat: A mezei sóska (S), lándzsás útifű (Ú) és a kis télizöd (T) polifenoljainak folyadékkromatográfiás/tömegspektrometriás azonosítása. M-H: anyaion, MS/MS: főbb fragmensek. Hex.: hexozid, ramn.: ramnozid, szárm.: származék, x: kimutatható, nk: nem kimutatható.

Csúcs	t_r [perc]	Vegyület neve	S	Ú	T	$[M-H]^-$ m/z	MS/MS m/z
1	6.15	dihiroxibenzoesav-*O*-hex. szárm.			x	653	337, 315, 235, 153, 109
2	6.33	kávésav	x			179	135
3	6.8	klorogénsav izomer1	x	x		353	191, 179, 161, 135
4	8.09	galluszsav-*O*-hex. szárm.1		x		375	213, 169, 151, 125, 107, 95
5	8.2	*p*-kumaroilkínasav izomer1	x	x		337	191, 173, 163, 155, 119, 111
6	8.36	kávésav-*O*-hex.	x			341	179, 135
7	9.19	*p*-kumaroilkínasav izomer2	x	x		337	191, 173, 163, 155, 119, 111
8	9.7	*p*-kumársav-*O*-hex. szárm.1			x	325	205, 187, 163, 145, 119
9	10.4	galluszsav-*O*-hex. szárm.2			x	375	213, 169, 151, 125
10	10.98	ismeretlen1	x			447	429, 339, 315, 239, 168, 151, 125
11	11.5	ismeretlen2			x	411	389, 231, 209, 187, 161, 139, 121
12	11.89	ismeretlen3	x			367	235, 293, 134

Csúcs	t_r [perc]	Vegyület neve	S	Ú	T	$[M-H]^-$ m/z	MS/MS m/z
13	13.15	klorogénsav izomer2			x	353	191, 179, 161, 135
14	16.48	klorogénsav izomer3		x	x	353	191, 179, 161, 135
15	17.77	ismeretlen4	x			355	295, 217, 193, 175, 160, 134
16	19.64	(+)-katechin	x			289	245, 203, 125, 123, 109
17	28.4	ismeretlen5			x	377	331
18	33.1	kvercetin-*O*-hex.-deoxihex.-hex.1			x	771	609, 462, 301, 300, 271, 255, 179
19	34.4	kvercetin-*O*-hex.-deoxihex.-hex.2			x	771	609, 462, 301, 300, 271, 255, 179
20	35.33	kempferol-*O*-hex.-deoxihex.-hex.1			x	775	635, 593, 447, 327, 285, 284, 255, 227
21	37.4	kávésav-*O*-hex. szárm.1		x		639	529, 459, 325, 233, 203, 179, 161, 135
22	38.1	kempferol-*O*-hex.-deoxihex.-hex.2			x	775	635, 593, 447, 327, 285, 284, 255, 227
23	38.6	kávésav-*O*-dihex. szárm.1		x		785	623, 477, 461, 179, 161, 135
24	40.26	kvercetin-*O*-acetil-hex. szárm.	x			813	753, 651, 591, 463, 301, 300, 271, 215
25	40.98	kávésav-*O*-hex. szárm.2		x		639	529, 459, 325, 233, 203, 179, 161, 135
26	42.45	kávésav-szárm.		x		835	637, 483, 461, 351, 285, 193, 179, 161
27	43.11	kávésav-*O*-hex. szárm.3		x		623	461, 315, 297, 179, 161, 135
28	43.14	ismeretlen6			x	513	339, 295, 251
29	43.4	kávésav-*O*-hex. szárm.4		x		623	461, 315, 297, 179, 161, 135
30	44.42	kvercetin-szárm.1	x		x	609	343, 301, 300, 271, 255, 179
31	44.8	kávésav-*O*-hex. szárm.5		x		651	489, 325, 203, 179, 161, 135
32	45.53	kvercetin-*O*-hex.	x			463	343, 301, 300, 272, 257, 215, 191
33	45.61	kvercetin-szárm.2			x	609	343, 301, 300, 271, 255, 179
34	46.48	ismeretlen7		x		637	461, 357, 327, 285, 297, 175, 113
35	47.1	kávésav-*O*-hex.-ramn. szárm.		x		769	607, 461, 315, 179, 161, 135
36	47.3	kempferol-*O*-rutinozid1			x	593	447, 429, 285, 284, 255, 227
37	48.28	kvercetin-*O*-pentozid	x			433	301, 300, 272, 257, 216
38	48.42	ferulasav-*O*-glükuronid szárm.		x		989	813, 527, 461, 285, 193, 175, 149, 134
39	49.1	kávésav-*O*-dihex. szárm.2		x		653	491, 476, 445, 283, 179, 161, 135
40	49.73	kempferol-*O*-rutinozid2			x	593	447, 429, 285, 284, 255, 227
41	49.84	kvercetin-*O*-ramn.-*O*-acetil-ramn.1	x			651	591, 505, 445, 301, 300, 271, 179
42	50.52	kávésav-*O*-hex. szárm.6			x	537	375, 331, 313, 179, 161, 135
43	50.57	kvercetin-*O*-ramn.-*O*-acetil-ramn.2	x			651	591, 505, 445, 301, 300, 271, 179
44	51.5	kávésav-*O*-dihex.-glükuronid szárm.		x		1111	917, 755, 737, 593, 179, 161, 135
45	51.93	kempferol-*O*-acetil-hex. szárm.	x			653	593, 575, 411, 285, 284, 255, 227
46	52.26	*p*-kumársav-*O*-hex.-ramn. szárm.1			x	521	357, 315, 297, 195, 163, 145, 119
47	52.5	kávésav-*O*-ramn. szárm.		x		1139	975, 783, 619, 355, 193, 179, 161, 135
48	52.55	kínasav szárm.1			x	705	487, 439, 332, 191, 173, 127, 111, 109
49	52.6	ferulasav-*O*-glükuronid szárm.		x		475	337, 299, 284, 175, 149, 134, 113
50	52.9	ismeretlen-*O*-glükuronid szárm.		x		461	399, 285, 217, 199, 151
51	53.54	*p*-kumársav-*O*-hex.-ramn. szárm.2			x	521	357, 315, 297, 195, 163, 145, 119
52	53.71	ferulasav-*O*-dihex.-*O*-glükuronid	x			693	517, 337, 193, 175, 160, 148, 134
53	53.91	kínasav szárm.2			x	705	487, 439, 332, 191, 173, 127, 111, 109
54	55.56	kávésav-*O*-hex. szárm.7		x		1153	913, 755, 593, 575, 315, 179, 161, 135
55	56.5	ferulasav-*O*-dihex. szárm.	x			735	559, 337, 265, 193, 175, 160, 148, 134
56	58.58	rutin	x			609	301, 300, 271, 255, 179
57	74.3	*p*-kumársav-*O*-ramn. szárm.1			x	617	453, 407, 163, 145, 119

Csúcs	t_r [perc]	Vegyület neve	S	Ú	T	$[M-H]^-$ m/z	MS/MS m/z
58	78.73	*p*-kumársav-*O*-ramn. szárm.2			x	617	453, 407, 163, 145, 119
59	79.54	ferulasav szárm.1			x	647	603, 453, 407, 193, 178, 149, 134
60	80.45	ferulasav szárm.2			x	647	603, 453, 407, 193, 178, 149, 134

5. Következtetés

Az agrárerdészeti rendszerek jelentősége a jövőben egyre hangsúlyosabb lesz, ami szükségessé teszi az ilyen üzemmódban termelt élelmiszernövények és gyógynövények optimális termesztési módszereinek vizsgálatát a megfelelő hozamok és beltartalmi tulajdonságok érdekében. Kutatásunkban a Bajti Nemesítő Telep agrárerdészeti rendszerében, különböző talajtakarási módszerekkel termesztett három gyógynövényfaj antioxidáns összetételének összehasonlító vizsgálatát végeztük el, az optimális termesztési feltételeket vizsgálva a legjobb antioxidáns összetétel elérése érdekében. Megállapítottuk, hogy a talajtakarási módszerek hatása az antioxidáns kapacitásra és a polifenol tartalomra erősen fajfüggő.

A mezei sóska vizsgálata során a „mulcs" mintákban mértük a legmagasabb antioxidáns kapacitást, a legmagasabb szerves savtartalmakat (oxálsav, borkősav és borostyánkősav) és a 19 legfontosabb polifenolos összetevő közül 6 vegyületnél (kávésav; klorogénsav izomer1; *p*-kumaroilkínasav izomer1 és 2; ismeretlen1; kvercetin-*O*-ramnozid-*O*-acetil-ramnozid1) kimagaslóan nagy értékeket mértünk. A sóskával ellentétben a lándzsás útifű és a kis télizöld esetében egyik talajtakarás sem járult hozzá az antioxidáns kapacitás szignifikáns növekedéséhez a kontrollhoz képest. A lándzsás útifűben 21 féle vegyületet azonosítottunk, amelyekből az egyik kávésav származék volt a legnagyobb mennyiségben megtalálható. A kromatográfiás elválasztás során egyik talajtakarási módszer esetében sem tapasztalható, hogy valamelyik polifenolos vegyületből számottevően magasabb mennyiség lenne jelen, mint a többi mintában. Feltételezhetőleg a lándzsás útifűben a polifenolok mellett más anyagok (pl. nagy mennyiségben jelen lévő nem-polifenolos antioxidáns hatással rendelkező fitoatív anyagok, mint az aukubin) is hozzájárulnak a kivonatok antioxidáns hatásához. A kis télizöld esetében 25 féle vegyületet azonosítottunk, legnagyobb mennyiségben egy dihiroxibenzoesav származék, egy kvercetin származék és két kempferol származék volt jelen. A lándzsás útifű és a kis télizöld mintákból kiegészítő vizsgálatok szükségesek további, akár nem antioxidáns hatású, de élelmiszeripari és gyógyszeripari hasznosítás szempontjából kiemelt jelentőségű fitoaktív vegyületeinek összehasonlító elemzésére. A termelési körülmények optimalizálásával az agrárerdészeti rendszerekben termelt vizsgált gyógynövények beltartalmi értékei szignifikánsan javíthatók, mely élelmiszeripari és gyógynövényipari alapanyagként való alkalmazhatóságukat és piaci értéküket növelheti.

6. Köszönetnyilvánítás

A kutatás megvalósítását a következő projektek támogatták: EFOP-3.6.2-16-2017-00018 „Termeljünk együtt a természettel – Az agrárerdészet, mint új kitörési lehetőség", REFOREST - Agroforestry at the forefront of farming sustainability in multifunctional landscapes in Europe, 101060635 (https://agroreforest.eu/), AGROSUS (Agroecological strategies for sustainable weed management in key European crops), 101084084 (https://agrosus.eu/).

7. Felhasznált irodalom

Abbas, M.; Saeed, F.; Anjum, F. M.; Afzaal, M.; Tufail, T.; Bashir, M. S;,Ishtiaq, A.; Hussain, S.; Suleria, H. A. R. (2017): Natural polyphenols: An overview. International Journal of Food Properties. (20):8. pp.: 1689-1699. DOI: https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1220393

Abreu, N.I.; Mazzafera, P. (2005): Effect of water and temperature stress on the content of active constituents of Hypericum brasiliense Choisy. Plant Physiol Biochem. (43) pp.:241–248. DOI: https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2005.01.020

Aydinalp, C.; Cresser, M.S. (2008): The effects of global climate change on agriculture. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences. (3):5. pp.: 672-676. ISSN 1818-6769

Bae, J.Y.; Lee, Y.S.; Han, S.Y.; Jeong, E.J.; Lee, M.K.; Kong, J.Y.; Lee, D.H.; Cho, K.J.; Lee,H.S.; Ahn, M.J. (2012): A Comparison between Water and Ethanol Extracts of *Rumex acetosa* for Protective Effects on Gastric Ulcers in Mice. Biomolecules and Therapeutics. (20):4. pp.: 425-430. DOI: https://doi.org/10.4062/biomolther.2012.20.4.425

Bahadori, M.B.; Sarikurkcu, C.; Kocak, M.S.; Calapoglu, M.; Uren, M.C.; Ceylan. O. (2020): Plantago lanceolata as a source of health-beneficial phytochemicals: Phenolics profile and antioxidant capacity. Food Bioscience. (34) 100536. DOI: 10.1016/j.fbio.2020.100536

Beara, I.N.; Lesjak, M.M.; Orcic, D.Z.; Simin, N.D.; Cetojevic-Simin, D.D.; Bozin, B.N.; Mimica-Dukic, N.M. (2012): Comparative analysis of phenolic profile, antioxidant, anti-inflammatory and cytotoxic activity of two closely-related Plantain species: *Plantago altissima* L. and *Plantago lanceolata* L. Food Science and Technology. (47):1. pp.: 64-70. DOI: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.01.001

Bello, O.M.; Fasinu, P.S.; Bello, O.E.; Ogbesejana, A.B.; Adetunji, C.O.; Dada, A.O., Ibitoye, O.S.; Aloko, S.; Oguntoye, O.S. (2019): Wild vegetable *Rumex acetosa* Linn.: Its ethnobotany, pharmacology and phytochemistry. South African Journal of Botany. (125). pp.: 149-160. DOI: https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.04.018

Benke, D.; Visiné Rajczi, E.; Hofmann, T. (2024): Antioxidant capacity of medical plants produced in agroforestry system. Acta Facultatis Forestalis Zvolen. (66):1. pp.: 35-47. ISSN 0231-5785

Benzie, I.F.F.; Strain, J.J. (1996): The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of ''Antioxidant Power'': The FRAP Assay. Analytical Biochemistry. (239). pp.: 70-76. DOI: https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292

Calfapietra, C.; Gielen, B.; Karnosky B.; Ceulemans, B.; Mugnozza, G.S. (2010): Response and potential of agroforestry crops under global change. Environmental Pollution. (158). pp.: 1095-1104. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.09.008

Caprile, A. (2022): New EU forest strategy for 2030. European Parliamentary Research Service. PE 698.936.

Chen, Q.; Lu, X.; Guo, X.; Guo, Q.; Li, D. (2017): Metabolomics Characterization of Two Apocynaceae Plants, Catharanthus roseus and Vinca minor, Using GC-MS and LC-MS Methods in Combination. Molecules. (22). 997. DOI: https://doi.org/10.3390/molecules22060997

Ciorita, A.; Zagrean-Tuza, C.; Mot, A.C.; Carpa, R.; Parvu, M. (2021): The Phytochemical Analysis of Vinca L. Species Leaf Extracts Is Correlated with the Antioxidant, Antibacterial, and Antitumor Effects. Molecules. (26):10. 3040. DOI: https://doi.org/10.3390/molecules26103040

de Jong, W.; Pokorny, B.; Katila, P.; Galloway, G.; Pacheco, P. (2018): Community Forestry and the Sustainable Development Goals: A Two Way Street. Forest. (9). 331. DOI: https://doi.org/10.3390/f9060331

den Herder, M.; Moreno, G.; Mosquera-Losada R.M.; Palma, J.H.N.; Sidiropoulou, A.; Frejanes J.J.S.; Crous-Duran, J.; Paulo J.A.; Tomé, M.; Pantera A.; Papanastasis V.P.; Mantzanas, K.; Pachana, P.; Papadopoulos, A.; Plieninger. T.; Burgess, P.J. (2017): Current extent and stratification of agroforestry in the European Union. Agriculture, Ecosystems and Environment. (241). pp.: 121-132. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.03.005

Dimitrescu A.M.; Stanciu, G.; Sirbu, R.; Busuricu, F. (2021): Spectrophotometric Studies of Indolic Compounds from *Vinca Minor* L. European Journal of Natural Sciences and Medicine. (4):1. pp.: 88-98. DOI: https://doi.org/10.26417/200exd50h

Ekor M. (2014): The growing use of herbal medicines: issues relating to adverse reactions and challenges in monitoring safety. Frontiers in pharmacology. (4). 177. DOI: https://doi.org/10.3389/fphar.2013.00177

Feduraev, P.; Skrypnik, L.; Nebreeva, S.; Dzhobodze, G.; Vatagina, A.; Kalinina, E.; Pungin, A.; Maslennikov, P.; Riabova, A.; Krol, O.; Chupakhina, G. (2022): Variability of Phenolic Compound Accumulation and Antioxidant Activity in Wild Plants of Some Rumex Species (Polygonaceae). Antioxidants. (11). 311. DOI: https://doi.org/10.3390/antiox11020311

Galato, D.; Ckless, K.; Susin, M. F.; Giacomelli, C.; Ribeiro-do-Valle, R. M.; Spinelli, A. (2001): Antioxidant capacity of phenolic and related compounds: correlation among electrochemical, visible spectroscopy methods and structure–antioxidant activity. Redox Report.(6):4. pp.: 243-250. DOI: https://doi.org/10.1179/135100001101536391

Grigore, A.; Bubueanu, C.; Pirvu, L.; Ionita, L.; Toba, G. (2015*): Plantago lanceolata* L. Crops- Source of valuable raw material for varios industrial applications. Scientific Papers. Series A. Agronomy. (58). pp.: 207-214. DOI: https://doi.org/10.5555/20153325237

Guil-Guerrero, J. L. (2001): Nutritional composition of Plantago species (*P. major* L., *P. lanceolata* L., and *P. media* L.). Ecology of food and nutrition. (40):5. pp.: 481-495. DOI: https://doi.org/10.1080/03670244.2001.9991663

Gustavsson, L.; Haus S.; Lundblad, M.; Lundström, M.; Ortiz, C.A.; Sathre, R.; Truong, N.L.; Wikberg, P.E. (2017): Climate change effects of forestry and substitution of carbon-intensive materials and fossil fuels. Renewable and Sustainable Energy Reviews. (67). pp.: 612-624. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.056

Guti, E. (2023): Összehasonlító mikroklíma vizsgálatok a bajti csemetekert köztestermesztéses agrárerdészeti rendszerében. Diplomamunka. Soproni Egyetem, Sopron. http://diploma.uni-sopron.hu/id/eprint/10764

Halliwell, B. (1990): How to characterize a biological antioxidant. Free Radical Research Communications. (9):1. pp.: 1-32. DOI: https://doi.org/10.3109/10715769009148569

Hegedűs, A.; Stefanovitsné, B.E. (2012): Természetes antioxidáns-forrásunk: a gyümölcs. Debrecen: Debreceni Egyetem, AGTC, Kertészettudományi Intézet. pp. 162. ISBN 9786155183263

Jantwal, A.; Durgapal, S.; Upadhyay, J.; Joshi, T.; Kumar, A. (2022): Tartaric acid. In: Antioxidants Effects in Health. (Eds.: Nabavi, S.M. & Silva, A.S.) Elsevier. pp.: 485-492. ISBN 978-0-12-819096-8 DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819096-8.00019-7

Irtegün Kandemir, S.; Aktepe, N.; Baran, A.; Baran, M.F.; Atalar, M.N.; Keskin, C.; Karadag, M.; Eftekhari, A.; Alma, M.H.; Zor, M.; Aliyeva, I.; Khalilov, R. (2024): Determination of chemical composition and antioxidant, cytotoxic, antimicrobial, and enzyme inhibition activities of *Rumex acetosella* L. plant extract. Chem. Pap. (78). pp.: 4583–4592. DOI: https://doi.org/10.1007/s11696-024-03419-0

Kárpáti, E.; Bíró, K.; Kukorelli, T. (2002): Investigation of vasoactive agents with indole skeletons at Richter Ltd. Acta Pharmaceutica Hungarica. (72):1. pp.: 25-36. PMID 12426785

Kaya, S.; Regab, C.; Morenoc, G.; den Herder, M.; Palmae, J.H.N.; Borekg, R.; Durane, J.C.; Freeseh, D.; Giannitsopoulosi, M.; Gravesi, A.; Jägerj, M.; Lamersdorfk, N.; Memedeminl, D.; Losadam, R.M.; Panteran, A.; Paracchinib, M.L.; Pariso P.; Díaza, J.V.R.; Roloc, V.; Rosatiq, A.; Sandorr, M.; Smiths, J.; Szerencsitsa, E.; Vargat, A.; Viaudu, V.; Wawerg, R.; Burgessi, P.J.; Herzoga, F. (2019): Agroforestry creates carbon sinks whilst enhancing the environment in agricultural landscapes in Europe. Land Use Policy. (83). pp.: 581-593. DOI: https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.02.025

Kayashima, T.; Katayama, T. (2002): Oxalic acid is available as a natural antioxidant in some systems. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects. (1573):1. pp.: 1-3. DOI: https://doi.org/10.1016/s0304-4165(02)00338-0

Koel, M.; Kuhtinskaja, M.; Vaher, M. (2020): Extraction of bioactive compounds from *Catharanthus roseus* and *Vinca minor*. Separation and Purification Technology. (252). 117438. DOI: https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117438

Kovács, K.; Vityi, A.; Szalay, D. (2019): Az agroerdészet szerepe az erdőfelújításban és a növekvő faanyagigény kielégítésében. Jelenkori Társadalmi és Gazdasági Folyamatok. (14):2. pp.: 59-63. DOI: https://doi.org/10.14232/jtgf.2019.2.59-63

Kovács, K.; Vityi, A. (2022): Soil and Atmospheric Microclimate Research in Poplar Forestry Intercropping System in Hungary. Acta Silvatica & Lignaria Hungarica, (18):1. pp.: 9-24. DOI: https://doi.org/10.37045/aslh-2022-0001

Li, J. J.; Li, Y.X.; Li, N.; Zhu, H.T.; Wang, D.; Zhang, Y.J. (2022): The genus *Rumex* (Polygonaceae): an ethnobotanical, phytochemical and pharmacological review. Natural Products and Bioprospecting. (12):1. pp.: 21. DOI: https://doi.org/10.1007/s13659-022-00346-z

Lu, Y.; Du, Y.; Qin, X.; Wu, H.; Huang, Y.; Cheng, Y.; Wei, Y. (2019): Comprehensive evaluation of effective polyphenols in apple leaves and their combinatory antioxidant and neuroprotective activities. Industrial Crops and Products. (129):7. pp.: 242-252. DOI: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.013

Lundgren, B.O.; Raintree, J.B. (1983): Sustained Agroforestry. Reprint for International Council for Research in Agroforestry. (3). pp.: 26.

Mämmela, P. (2001): Phenolics in selected European hardwood species by liquid chromatography-electrospray ionisation mass spectrometry. Analyst. 126. pp.: 1535-1538. DOI: https://doi.org/10.1039/b104584a

Mondal, R.; Negi, A.; Mishra, M. (2021): Morphoanatomical, Histochemical Characterization & Preliminary Phytochemical Studies of *Plantago major* L. IJRAR. (8):3. pp.: 823-860. E-ISSN 2348-1269, P- ISSN 2349-5138

Nazaruk, J. (2008): Antioxidant activity and total phenolic content in *Cirsium* five species from north–east region of Poland. Fitoterapia. (79): 3. pp.: 194-196. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fitote.2007.11.008

Nichita, C.; Neagu, G.; Cucu, A.; Vulturescu, V.; Bertesteanu S.V.G. (2016): Antioxidative properties of Plantago lanceolata L. extracts evaluated chemiluminescence method. AgroLife Scientific Journal. (5):2. pp.: 95-102. ISSN 2285-5718

Nuwarapaksha, T. D.; Udumann, S. S.; Dissanayaka, N. S.; Atapattu, A. J. (2025): Future Prospects

and Emerging Trends in Agroforestry Research. In: Agroforestry for a Climate-Smart Future. (Eds.: Atapattu, A.) IGI Global Scientific Publishing. pp. 497-518. DOI: https://doi.org/10.4018/979-8-3693-8282-0.ch017

Pan, S.Y.; Litscher, G.; Gao, S.H.; Zhou, S.F.; Yu, Z.L.; Chen, H.Q.; Zhang, S.F.; Tang, M.K.; Sun, J.N.; Ko, K.M. (2014): Historical Perspective of Traditional Indigenous Medical Practices: The Current Renaissance and Conservation of Herbal Resources. Evidence-based complementary and alternative medicine. 525340. DOI: https://doi.org/10.1155/2014/525340.

Pankoke, H.; Müller, C. (2013): Impact of defoliation on the regrowth capacity and the shoot metabolite profile of *Plantago lanceolata* L. Plant physiology and biochemistry. (71). pp.: 325-333. DOI: https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.07.016

Pol, M.; Schmidtke, K.; Lewandowska, S. (2021): *Plantago lanceolata* – An overview of its agronomically and healing valuable features. Open Agriculture. (6). pp.: 479-488. DOI: https://doi.org/10.1515/opag-2021-0035

Pol, M.; Potterat, O.; Tröber, F.; Lewandowska, S.; Schmidtke, K. (2024): Rooting Patterns and Aucubin Content in *Plantago lanceolata*. Agriculture. (14). 1352. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture14081352

Rasouli, H.; Farzaei, M. H.; Khodarahmi, R. (2017): Polyphenols and their benefits: A review. International Journal of Food Properties. (20):2. pp.: 1700-1741. DOI: https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1354017

Rigueiro-Rodríguez, A.; McAdam, J.; Mosquera-Losada, M.R. (2008): Agroforestry in Europe: Current Status and Future Prospects. Springer, Dordrecht. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8272-6

Sanchísa, F.M.; Bello, M.L.F. (2009): Climate change and its marginalizing effect on agriculture. Ecological Economics. (68). pp.: 896-904. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.07.015

Sawada, Y.; Nakabayashi, R.; Yamada, Y.; Suzuki, M.; Sato, M.; Sakata, A.; Saito, K. (2012): RIKEN tandem mass spectral database (ReSpect) for phytochemicals: a plant-specific MS/MS-based data resource and database. Phytochemistry. (82). pp.: 38-45. DOI: https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2012.07.007

Sezer, E.N.S.; Uysal, T. (2018): Volatile and Phenolic Compositions of the Leaves of Two *Vinca* L. Species from Turkey. Current Perspectives on Medicinal and Aromatic Plants. (2). pp.: 103-110.

Siener, R.; Hönow, R.; Seidler, A.; Voss, S.; Hesse, A. (2006): Oxalate contents of species of the Polygonaceae, Amaranthaceae and Chenopodiaceae families. Food Chemistry. (98):2. pp.: 220-224. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.059

Simon T.; Csapody V. (1991): Kis növényhatározó rendszertani és ökológiai tájékoztatóval. Tankönyvkiadó, Budapest.

Singh, S. K.; Kaldate, R.; Bisht, A. (2022): Citric acid, antioxidant effects in health. In: Antioxidants Effects in Health. (Eds.: Nabavi, S.M. & Silva, A.S.) Elsevier. pp.: 309-322. ISBN 978-0-12-819096-8. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819096-8.00045-8

Stewart, A.V. (1996): Plantain (*Plantago lanceolata*) – a potential pasture species. Journal of New Zealand Grasslands. (58). pp.: 77-86. DOI: https://doi.org/10.33584/jnzg.1996.58.2221

Szigeti, N.; Frank, N.; Vityi, A. (2020): The Multifunctional Role of Shelterbelts in Intensively Managed Agricultural Land – Silvoarable Agroforestry in Hungary. Acta Silvatica & Lignaria Hungarica, (16):1. pp.: 19–38. DOI: https://doi.org/10.37045/aslh-2020-0002

Szigeti, N.; Berki, I.; Vityi, A.; Winkler, D. (2021): The Role of Grassy Habitats in Agroforestry. Acta Silvatica & Lignaria Hungarica, (17):2. pp.: 65–82. DOI: https://doi.org/10.37045/aslh-2021-0005

Tálos-Nebehaj, E. (2017): Antioxidáns paraméterek vizsgálata a Magyarországon előforduló erdei fafajok levél- és kéregszövetében. Doktori (PhD) értekezés. Soproni Egyetem, Sopron.

Tita, I.; Mogosanu, G.D.; Tita, M.,G. (2009): Ethnobotanical inventory pf medicinal plants from the south-west of Romania. Farmacia. (57):2. pp.: 141-156.

Torralba, M.; Fagerholm, N.; Burgess, P.J.; Moreno, G.; Plieninger, T. (2016): Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. Agriculture, Ecosystems and Environment. (230). pp.: 150-161. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.002

Tuazon-Nartea, J.; Savage, G.P. (2013): Investigation of oxalate levels in sorrel plant parts and sorrel-based products. Food and Nutrition Sciences. (4):8. pp.: 838-843. DOI: https://doi.org/10.4236/fns.2013.48109

Van Wyk B.E.; Wink M. (2004): Medicinal Plants of the World: An Illustrated Scientific Guide to Important Medicinal Plants and Their Uses. Timber Press, Portland. Oregon. ISBN 0-88192-602-7

Visiné Rajczi, E.; Benke, D.; Hofmann T. (2024): Talajtakarás és árnyékolás hatása lágyszárúak antioxidáns kapacitására egy agrárerdészeti rendszerben. Georgikon for Agriculture. (28):2. pp.: 185–190. HU ISSN 0239 1260

Vityi, A.; Kiss-Szigeti, N.; Kovács K. (2018): Az agrárerdészet magyarországi helyzete. Kutatások a 210 éves Erdőmérnöki Karon. Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet, Sopron.

Watson, R. R. (2018): Polyphenols in plants: isolation, purification and extract preparation. Academic Press. ISBN: 9780128137680

Wegiera, M.; Grabarczyk, P.; Baraniak, B.; Smolarz, H.D. (2011): Antiradical properties of extracts from roots, leaves and fruits of six *Rumex* L. species. Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica. (53):1. pp.: 125-131. DOI: https://doi.org/10.2478/v10182-011-0018-z

Wijngraard, H.H.; Rößle, C.; Brunton, N. (2009): A survey of Irish fruit and vegetable waste and by-products as a source of polyphenolic antioxidants. Food Chemistry. (116):1. pp.: 202-207. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.033

Willmott, A.; Willmott, M.; Grass, I.; Lusiana, B.; Cotter, M. (2023): Harnessing the socio-ecological benefits of agroforestry diversification in social forestry with functional and phylogenetic tools. Enviromental Development. (47). 100881. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envdev.2023.100881

Ye, K.Y.; Yastreb, T.O.; Miroshnichenko, N.N. (2011): Influence of salicylic and succinic acids on antioxidant enzymes activity, heat resistance and productivity of *Panicum miliaceum* L. Journal of Stress Physiology & Biochemistry. (7):2. pp.: 154-163. ISSN 1997-0838

Young, I.S.; Woodside, J.V. (2001): Antioxidants in health and disease. Journal of Clinical Pathology. (54). pp.: 176-186. DOI: https://doi.org/10.1136/jcp.54.3.176

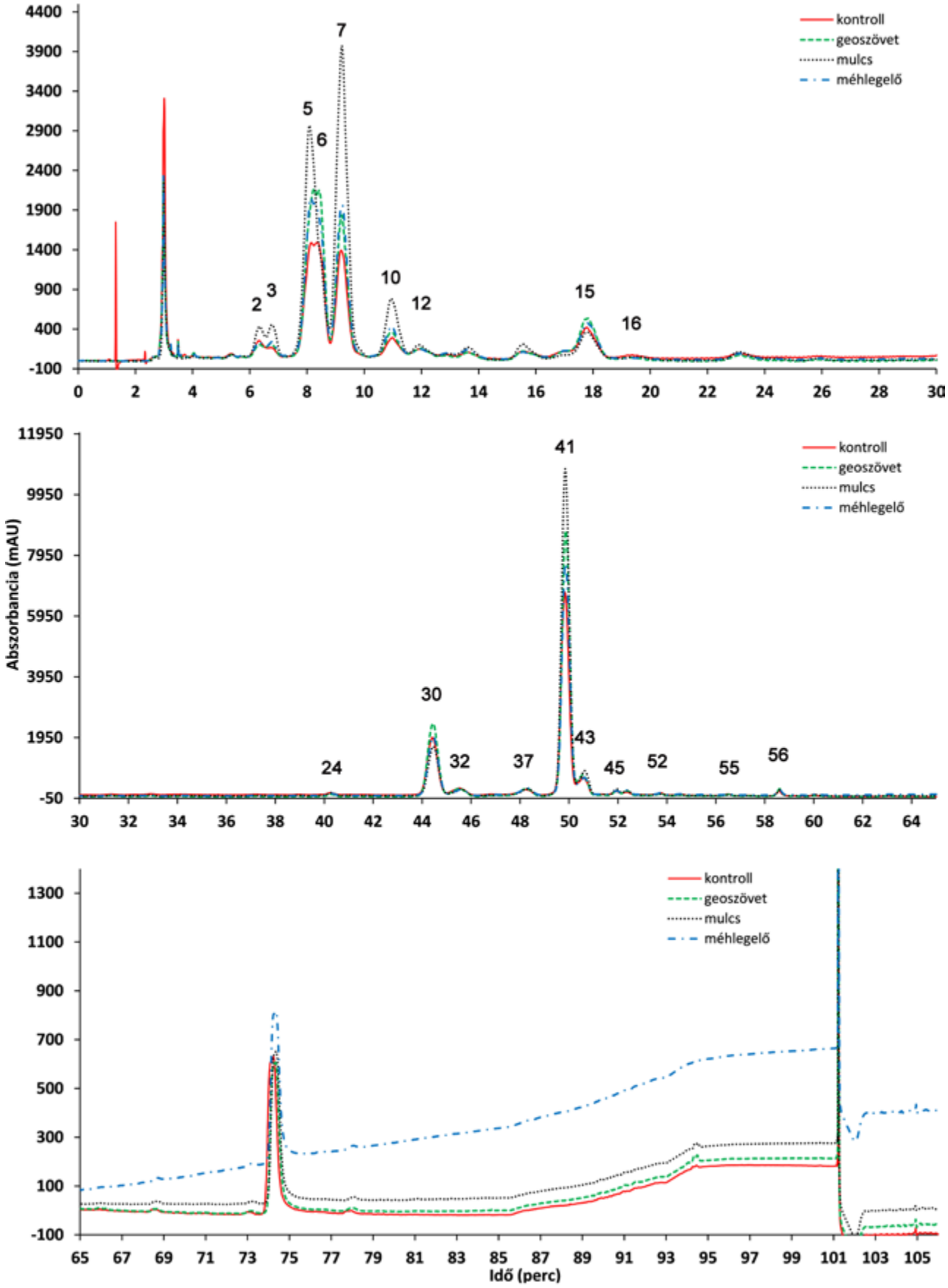
Zhang, Y.; Yang, S.H.; Guo, X.L. (2017): New insights into Vinca alkaloids resistance mechanism and circumvention in lung cancer. Biomedicine and Pharmacotherapy. (96). pp.: 659-666. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.10.041

Zubay, P.; Ruttner, K.; Ladányi, M.; Deli, J.; Németh, Z.É. (2021): In the shade – Screening of medicinal and aromatic plants for temperate zone agroforestry cultivation. Industrial Crops & Products. (170). 113764. DOI: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113764

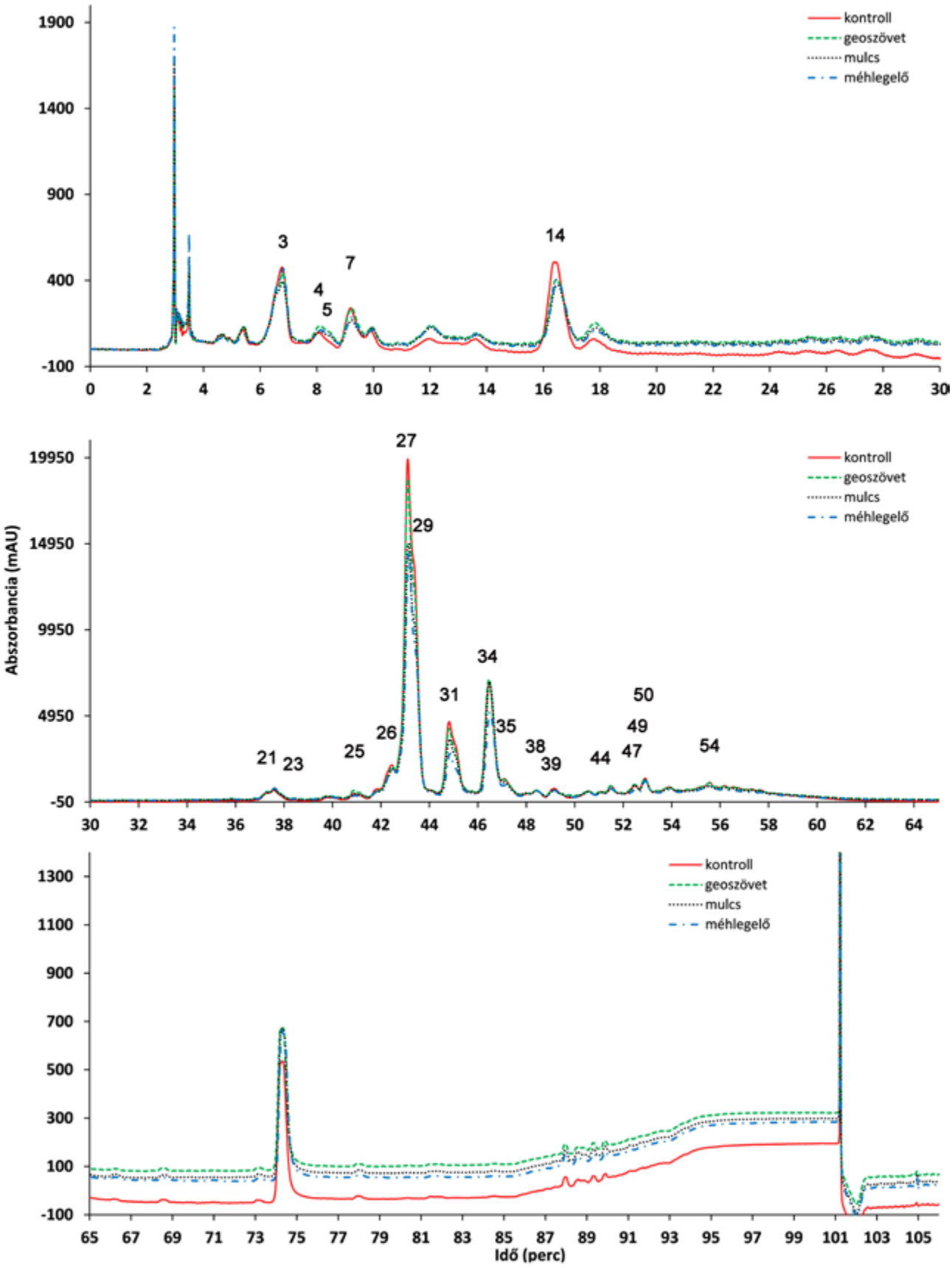
Internetes hivatkozások:

URL 1: https://www.fortunebusinessinsights.com/herbal-medicine-market-106320. Letöltve: 2025.06.18.

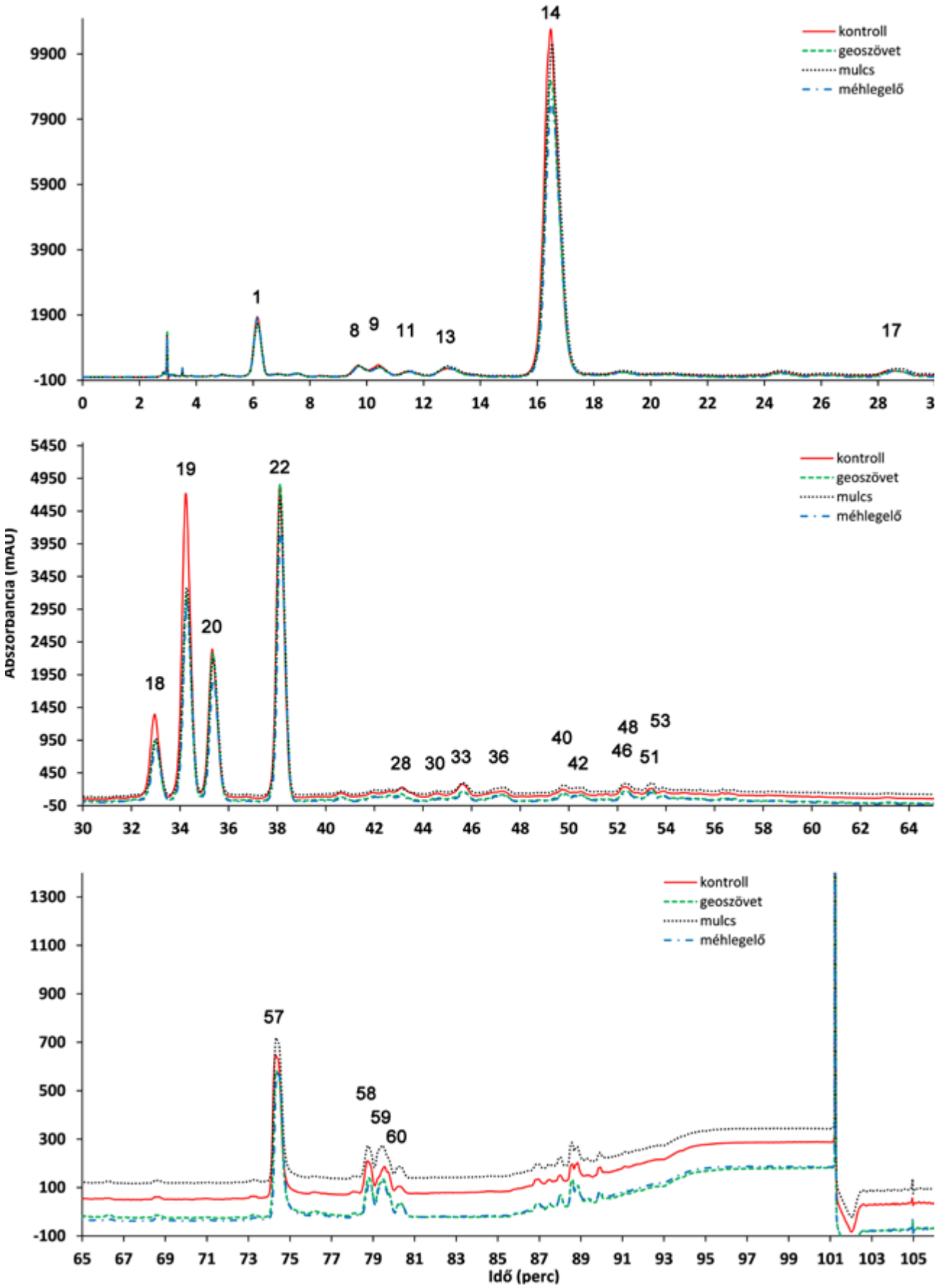
8. Mellékletek



M1. ábra. A mezei sóska extraktumainak kromatogramja UV (250-380 nm). piros: kontroll, fekete:geoszövet, zöld: mulcs, kék: méhlegelő. Vegyületek számozását lásd a **4. táblázat**ban.



M2. ábra. A lándzsás útifű extraktumainak kromatogramja UV (250-380 nm). piros: kontroll, fekete:geoszövet, zöld: mulcs, kék: méhlegelő. Vegyületek számozását lásd a **4. táblázat**ban.



M3. ábra. A kis télizöld extraktumainak kromatogramja UV (250-380 nm). piros: kontroll, fekete:geoszövet, zöld: mulcs, kék: méhlegelő. Vegyületek számozását lásd a **4. táblázat**ban.

HOFMANN Tamás[1] ✉, BENKE Dénes[1], VISINÉ RAJCZI Eszter[1]

DOI: https://doi.org/10.52091/EVIK-2025/3-3

Arrived: June 2025 – Accepted: September 2025

An Investigation of the Antioxidant Composition of Common Sorrel (Rumex acetosa L.)*, Lance-Leaved Plantain* (Plantago lanceolata L.)*, and Lesser Periwinkle* (Vinca minor L.) *Grown in Agroforestry Systems*

Keywords: Agroforestry systems, medicinal plants, antioxidants, polyphenols, liquid chromatography, mass spectrometry

Abstract

In this study, we examined three species of medicinal plant—common sorrel *(Rumex acetosa L.)*, lance-leaved plantain *(Plantago lanceolata L.)* and lesser periwinkle *(Vinca minor L.)*. We investigated whether different mulching methods have any beneficial effects on the antioxidant content of the plants, which is most advantageous for future use in the food industry, human nutrition, or as a pharmaceutical raw material.

The antioxidant capacity was assessed using the TPC (total polyphenol content according to the Folin-Ciocalteu method), FRAP (antioxidant capacity based on iron(III) ion reducing power) and DPPH (based on reaction with the 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical) methods. The organic acid and polyphenol composition was determined using a chromatography/mass spectrometry method. We found that the effect of mulching methods on antioxidant capacity and polyphenol content is highly species-dependent and that antioxidant content can be significantly increased with certain mulches. The results contribute to research on the chemical composition of medicinal plants grown in agroforestry systems, and the data can serve as a basis for planning further experiments on other species.

[1] University of Sopron, Faculty of Forestry, Institute of Environmental and Nature Conservation, Sopron

✉ Corresponding author

Tamás HOFMANN hofmann.tamas@uni-sopron.hu https://orcid.org/0000-0002-1928-7879
Dénes BENKE
Eszter VISINÉ RAJCZI https://orcid.org/0000-0003-0723-9885

Péter KORZENSZKY[1] ✉, Anna FARKAS[2], Salma KASSEBI[3], Antal VERES[4]

DOI: https://doi.org/10.52091/EVIK-2025/3-4

Arrived: May 2025 – Accepted: July 2025

Predictive Modeling of the (Multiplicative) Effect of Storage Temperature on Apple Weight Loss

Keywords: Golden Delicious, shelf life, storage temperature, post-harvest quality

1. Abstract

This study examines the effect of different storage conditions on weight loss in Golden Delicious apples over a period of 9 weeks. Apples were stored under five different storage conditions (3 °C, 5 °C, 10 °C, 15 °C, and 24 °C), and weight measurements were collected weekly using individually labelled samples. It should be noted that differences in relative humidity may also have contributed to the observed weight loss patterns. A linear mixed-effects model was applied to estimate weight loss rates, enabling the calculation of a temperature-specific slope for each group. These slopes were compared to the 3 °C reference condition, providing a quantifiable multiplier that describes the relative effect of temperature on weight loss. The results showed a strong linear trend in weekly weight loss under all conditions, with the temperature having a multiplicative effect: apples stored at 24 °C lost weight more than five times faster than those stored at 3 °C. An exponential model also captured the trend in slope values across temperature levels. The proposed method provides a transparent and interpretable framework for quantifying temperature effects and may be extended to other physiological parameters. These findings support improved storage strategies and contribute to sustainability efforts by reducing post-harvest losses in both industrial and household settings.

[1] Department of Farm and Food Machinery, Institute of Technology, Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Gödöllő,

[2] Doctoral School of Mechanical Engineering, Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Gödöllő

[3] Doctoral School of Mechanical Engineering, Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Gödöllő

[4] Department of Mathematics and Modelling, Institute of Mathematics and Basic Science, Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Gödöllő

✉ Corresponding author

Péter KORZENSZKY https://orcid.org/0000-0001-6295-8474
Anna FARKAS farkas.anna.7@phd.uni-mate.hu https://orcid.org/0009-0004-4734-6938
Salma KASSEBI https://orcid.org/0000-0002-3851-4328
Antal VERES https://orcid.org/0009-0000-4204-6099

2. Introduction

Optimizing the shelf life of fresh fruits is of key importance for both food supply chain logistics and the sustainable development of consumer habits. Apples, particularly the Golden Delicious variety, play an important role in the global fruit industry, but storage conditions, especially temperature, have a strong influence on the preservation of quality parameters. Weight loss is one of the most rapidly detectable and quantifiable indicators of shelf-life deterioration, primarily associated with water loss and metabolic activity.

The aim of this study is to examine the effect of different storage conditions on weight loss of Golden Delicious apples within nine weeks, using quantitative modeling based on weight measurements of individually labeled apple samples stored at different temperatures. The data obtained allow for a more accurate quantification of the effect of temperature on weight loss and can contribute to a more efficient planning of storage procedures. It is hypothesized that higher storage temperatures increase the rate of weight loss.

3. Literature review

Food waste has become a growing concern in recent years, with increasing attention from researchers, institutions, and public policy. Numerous publications have documented the scale of food waste in consumer households (Hooge et al., 2019). According to the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), approximately one-third of all food produced globally – around 1.3 billion tonnes – is lost or wasted annually. In the European Union alone, households account for the largest share of food waste, generating an average of 76 kg per person annually (Bräutigam et al., 2014; Monier et al., 2010).

In response to this challenge, efforts toward sustainable food production and consumption have intensified over the past decade. Scientific and social initiatives have promoted strategies to reduce waste at all stages of the food supply chain, including storage and post-harvest handling (Normann et al., 2019). Among food categories, fruits and vegetables are particularly vulnerable to spoilage. Significant losses occur before harvest and post-harvest processing, including transport and storage. Adequate refrigeration, humidity control, and optimized atmospheric composition are essential to maintain product quality during these stages (Khorshidi et al., 2010; Ghabour et al., 2021).

The apple (*Malus domestica Borkh.; Rosaceae*) is one of the most important fruits in terms of economic and cultural significance, as well as being rich in nutrients, and is grown in all temperate climate zones. (Spengler, 2019) Except for the seeds, the entire fruit is edible; it is also used to make several other products, including cider and juice, jam, compote, tea, wine, and dried apples. (Boyer et al., 2004) Thousands of apple varieties are known worldwide, although industrial fruit production is limited to 5-10 varieties, which vary from country to country. (Király et al., 2020) According to international surveys, due to losses occurring at various stages of processing, a significant portion of the harvest does not reach consumers on the market (Farkas et al., 2021).

Fruits can be kept fresh for a long time in refrigerated storage, but post-harvest fruit storage is one of the most challenging issues today (Kassebi et al., 2023). In order to minimize deterioration of the harvested apples, the optimal temperature is between 0-3°C in most cases. Rapid cooling of freshly harvested fruit to cold storage temperatures delays the onset of rapid softening (Johnston et al., 2005).

Fresh apples can be stored for several months under controlled atmosphere conditions, depending on the cultivar and storage technology (Sheng et al., 2017). The most important parameter to maintain quality during the storage period is temperature.

Fruits have an extremely high water content, which means that they have a relatively high metabolic activity compared to other plant-based foods, such as seeds. This metabolic activity continues after harvesting, making most fruits perishable goods. (Antunglu et al., 2004) Storage at low temperatures slows down cellular metabolism, thereby delaying the aging of the plant and increasing the shelf life of fruits and vegetables. (Xiao et al., 2023) Several factors influence the percentage of spoilage, most of which are internal. One such factor is the tissue condition, which is also affected by various mechanical impacts during harvesting or transport. (Farkas et al., 2019) Unlike meat, fruits and vegetables are living organisms, which means that they continue to breathe and evaporate even after being separated from the plant. (Zhang et al., 2021)

Low temperature slows down physiological and biochemical ripening processes in fruits during storage by drastically reducing the metabolism of the fruit, but lower than ideal temperature leads to damage by causing unbalanced metabolism (Weber et al., 2012). Biological processes typically follow temperature-dependent kinetics, often described by 10°C. (Mangaraj et al., 2008)

One of the key factors in apple storage is to reduce water loss and maintain high relative humidity; if the moisture content is not adequate during storage, chilling can lead to water loss from the product, resulting in reduced volume and internal spoilage. Weight loss is an important economic factor both during storage and transport. Water loss, which apples suffer during storage, has been a problem in apple storage for many years. Temperature and humidity vary during the storage period depending on the type of fruit, and therefore the ambient temperature and relative humidity in the storage area should be the same everywhere. Different temperature and humidity levels cause different quality losses in the products (Akdemir et al., 2020; Kassebi et al., 2021). High storage humidity slows down the reduction in the fresh weight of the fruit, the accumulation of soluble solids, and the loss of firmness and delays the ripening of the fruit. The reduction in apple skin tissue stiffness and weight loss is lower in fruit stored at high humidity, i.e., higher storage humidity results in less fruit weight loss and greater fruit firmness. As the relative humidity increases, the number of microcracks in the pome fruits also increases. High storage humidity can play a decisive role in preserving fruit quality by delaying the loss of fresh weight and reduction of flesh firmness, thus maintaining the freshness of the fruit longer. Higher storage humidity can contribute to fruit cracking and internal physiological disorders, including fruit flesh decay. (Lee et al., 2019)

Weight loss is one of the most critical post-harvest changes in fresh produce, particularly in apples. It occurs primarily through water loss and respiration and directly affects freshness, texture, and marketability (Khan et al., 2017; Kassebi et al., 2022). Monitoring this parameter provides insight into the fruit's physiological condition and the storage environment's effectiveness.

Several studies have demonstrated that increasing storage temperature accelerates weight loss in apples due to enhanced transpiration and respiration processes (Khan et al., 2017; Weber et al., 2012). Relative humidity also plays a critical role, as lower humidity levels increase the vapor pressure deficit, leading to faster moisture loss (Lee et al., 2019).

However, most previous studies focused on comparing discrete storage temperatures and did not aim to quantify temperature effects using a modelling-based, multiplicative approach. Therefore, there is a need for methods that describe temperature effects in a more quantitative and predictive manner.

This study aims to analyze the weight variation of Golden Delicious apples stored under different temperature and humidity conditions over 9 weeks. By quantifying the rate of weight loss and comparing storage methods, the results can contribute to the development of more appropriate storage methods that can keep fruits fresher for a longer period and improve their appearance. In this way, the research contributes to the broader goal of reducing food waste and promoting more sustainable household consumption habits.

4. Experimental

Golden Delicious apples were stored under five different environmental conditions to investigate the combined effects of storage temperature and relative humidity on weight loss. Modeling the consumer's environment, the test samples were stored in conventional household refrigerators available on the market. In each case, the temperature and humidity were precisely set. It should be noted that relative humidity differed between ambient conditions (A24) and the other groups; therefore, the observed effects cannot be attributed exclusively to temperature.

The control group (A03) was stored at 3 ± 1 °C and 85 ± 5 % relative humidity (RH%), representing widely accepted commercial cold storage conditions. In addition to this reference group, three other temperature conditions were tested: 5 ± 1 °C and 85 ± 5 % RH (A05), 10 ± 1 °C and 85 ± 5 % RH (A10), and 15 ± 1 °C and 85 ± 5 % RH (A15). A fourth group was stored at 24 ± 1 °C with a reduced humidity of 60 ± 5 % (A24), simulating the ambient room conditions.

All samples were kept in a dark, light-free environment to eliminate the influence of light on fruit quality. The storage time was limited because samples stored at room temperature deteriorated rapidly. The total storage period lasted 9 weeks, during which the apples were regularly monitored for physical and sensory changes. Attention was paid to the evolution of fruit weight as a key indicator of post-harvest physiological processes such as water loss and respiration. The experimental design aimed to assess the combined effect of temperature and relative humidity on apple preservation, focusing on the dynamics of weight loss. Insights from this study may support the development of optimized storage strategies for maintaining the visual and organoleptic quality of Golden Delicious apples during extended storage.

A total of 49 apples were measured weekly throughout the 9 weeks. The sample sizes varied by storage group: 13 apples were included in A03, A15, and A24, and 5 in A05 and A10. All apples were individually labelled to enable repeated measurements, and weight was recorded using a KPZ 2-05-4 digital scale (Hamburg, Germany; capacity: 0–6 kg, accuracy: ±0.2 g). Although group sizes were unbalanced, using a linear mixed-effects model —with random intercepts and repeated measures per apple— provided a statistically robust framework that accommodates individual variability and unequal group sizes.

Weight loss was chosen as the primary measurement parameter, as it is directly related to the fruit's freshness, firmness, and marketability. Apples lose weight during storage primarily through water loss, which can degrade textural quality and consumer acceptability. Monitoring this process over time provides essential insight into the fruit's physiological status and the effectiveness of the storage conditions.

5. Slope-Based Modeling of Temperature Effects

Weight loss for each apple was calculated weekly as the relative percentage change in weight compared to its initial weight at week 0:

$$\text{WeightLoss}_{i,t} = \frac{w_{i,t} - w_{i,0}}{w_{i,0}} \times 100\ [\%], \quad (1)$$

where is the weight of apple i at week t, and is its initial weight. This transformation ensured that all values started from zero and were directly comparable across apples and temperature groups.

We applied a linear mixed-effects model to model the relationship between storage temperature and the weight loss rate. The model included time (weeks), storage temperature, and their interaction as fixed effects, with random intercepts for individual apples nested within temperature groups. Since all weight loss values were defined relative to week zero, the model was specified without an intercept, allowing the slopes to be interpreted directly as weekly loss rates.

The assumptions of linearity and normally distributed residuals were visually inspected and found not to be violated. Random intercepts per apple accounted for individual variability across repeated measurements.

From this model, we extracted the slope for each temperature group *T*, denoted by .

The *multiplicative effect* relative to the standard cold storage condition (3°C) is defined and calculated as follows:

$$\text{Multiplier(T)} = \frac{\text{Slope (T)}}{\text{Slope (3)}}\ [—]. \quad (2)$$

This expresses how much faster apples lose weight at temperature *T* than the 3°C reference.

Finally, we modeled the relationship between slope and temperature using linear and exponential regression.

Statistical analyses were performed in R. Weight loss trends were modeled using a linear mixed-effects model (LMM) with the lmer() function of the *lme4* package, specifying time and temperature as fixed effects and apple ID as a random effect. To examine the effect of storage temperature on the rate of weight loss, slope values from the LMM were used to calculate relative multipliers against the 3 °C baseline. An exponential model of the form $y = a \cdot exp(b \cdot T)$ was fitted to these multipliers using non-linear least squares (nlsLM() from the *minpack.lm* package). Since traditional R^2 values are not reported for non-linear models, a pseudo R^2 was computed as $1 - SSR/SST$, where SSR is the sum of squared residuals and SST is the sum of squares of the observed multipliers.

6. Results

The visualized weight loss trends based on the linear mixed-effect model (Figure 2) reveal a consistent and nearly linear progression for each temperature condition. The raw data points, shown for every apple over 9 weeks, align closely with the model-derived trend lines. Each line begins at 0 % and rises according to the estimated weekly slope from the mixed-effects model. The excellent fit between raw data and group-specific slopes supports the model's validity and emphasizes the strong temperature dependence of weight loss dynamics.

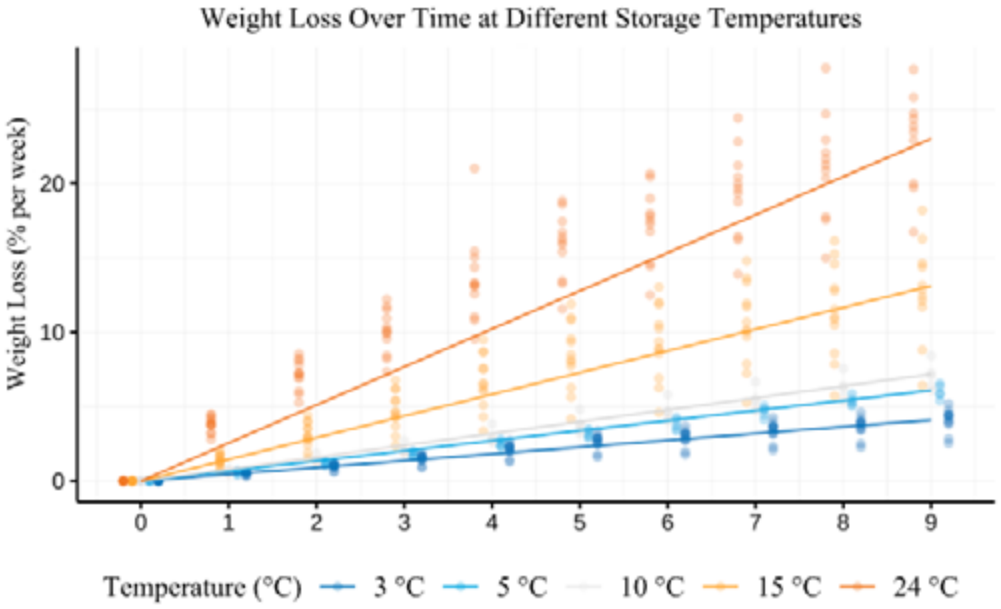


Figure 2 Weekly weight loss of individual apples over a 9-week storage period under five temperature conditions, with model-based trend lines.

Note. Each point represents the percentage weight loss of a single apple compared to its initial weight at week 0. Data are shown for five storage temperatures (3 °C, 5 °C, 10 °C, 15 °C, and 24 °C), with trend lines representing the group-specific linear model slopes derived from a linear mixed-effects model with no intercept. Coloured lines begin at (0, 0) and reflect each storage condition's estimated average weekly weight loss rate.

The linear mixed-effects model revealed a statistically significant effect of storage temperature on the weekly rate of weight loss in Golden Delicious apples. Slopes representing weekly weight loss were extracted for each temperature group by summing the baseline slope (3 °C) with the corresponding interaction term from the model. All slopes differed significantly from the 3 °C reference, with $p < 0.001$ for each condition above 5 °C (see Table 1).

The observed increase in weight loss with temperature is consistent with known physiological processes, as higher temperatures enhance respiration and transpiration rates, leading to increased water loss.

Table 1

Weekly weight loss rate (slopes) and relative multipliers for each storage temperature group.

Temperature (°C)	Slope (% per week)	Multiplicative Effect
3 (reference)	0.456	1.00
5	0.677	1.49
10	0.798	1.75
15	1.458	3.20
24	2.558	5.61

Note. *Slopes were estimated using a linear mixed-effects model, including time, temperature, and their interaction, with Apple ID as a random effect. Multiplicative effects indicate how many times faster apples lost weight at each temperature compared to the 3 °C reference.*

The slope at 3 °C was 0.456 % per week, while higher temperatures led to substantially faster weight loss, reaching 2.558 % per week at 24 °C. These values were used to compute multiplicative effects, representing how many times more rapid weight loss occurred relative to 3 °C. The multiplicative effect at 24 °C was approximately 5.6 times higher than the control.

To explore the relationship between temperature and the rate of weight loss, the slope values estimated for each storage condition were plotted against the corresponding storage temperature. Two predictive models, a linear and an exponential, were fitted to these slope values.

The linear model was defined as:

$$y = 0.2168 \cdot T + 0.1369 \quad (3)$$

and the exponential model as:

$$y = 0.9405 \cdot e^{0.0745T} \quad (4)$$

where y is the weekly weight loss rate (expressed as a percentage per week), and T is the storage temperature in degrees Celsius.

While both models achieved good fits (linear $R^2 = 0.962$, adjusted $R^2 = 0.949$; exponential pseudo $R^2 = 0.993$), the exponential model more accurately captured the accelerating trend in weight loss at higher temperatures and was selected for predictive purposes (Figure 3).

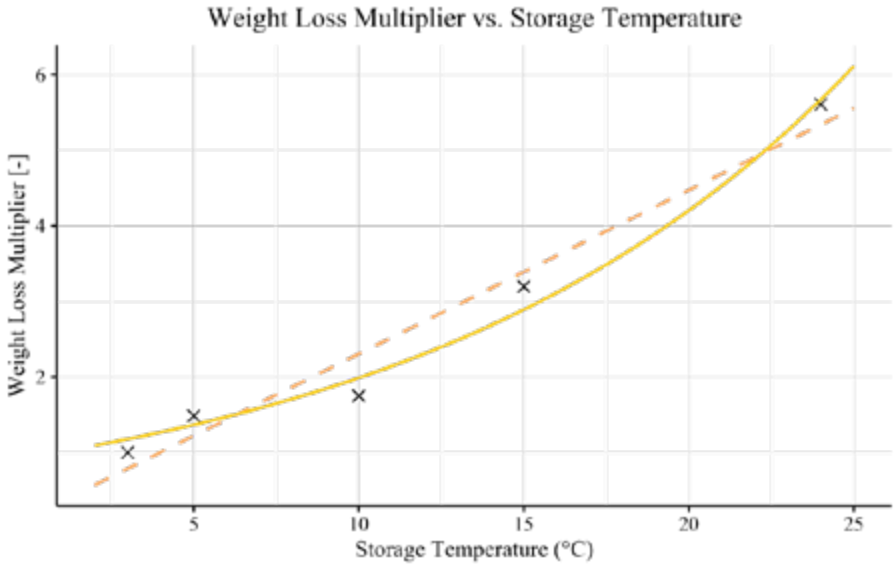


Figure 3 Relative weight loss multipliers of Golden Delicious apples across storage temperatures (baseline: 3 °C). Linear and exponential fits were applied; the exponential model captured the trend more accurately at higher temperatures.

Note. *Dots represent each temperature group's estimated weekly weight loss rates (slopes) based on a linear mixed-effects model. The dashed orange line shows the linear regression fit (R^2=0.962), and the solid yellow curve shows the exponential regression fit (R^2=0.986). The exponential model provided a better fit, indicating weight loss increased with accelerating temperature.*

The exponential model derived from the measured slopes enables the prediction of weekly weight loss rates at storage temperatures not directly tested in this study, particularly within the 3–24 °C range. Caution is advised when extrapolating beyond this range, especially where physiological processes may shift (e.g., near freezing or high respiration thresholds).

The observed increase in weight loss with temperature is consistent with known physiological processes, as higher temperatures enhance respiration and transpiration rates, leading to increased water loss.

The obtained results are consistent with previous studies reporting increased weight loss at higher storage temperatures (Khan et al., 2017; Weber et al., 2012). However, the magnitude of differences observed in this study may also be influenced by variations in relative humidity.

7. Conclusions

This study demonstrated a clear relationship between storage temperature and weight loss in Golden Delicious apples over 9 weeks. By applying a linear mixed-effects model, we could estimate weekly weight loss rates across five temperature conditions and express them as multiplicative effects relative to the commonly used 3 °C cold storage.

Higher temperatures led to significantly steeper weight loss slopes, with apples stored at 24 °C losing weight more than five times faster than those stored at 3 °C. These results were supported by a strong fit of both linear and exponential models to the extracted slopes, with the exponential model providing the best description of the accelerating trend.

The fitted model allows for predictive estimation of weight loss rates at intermediate temperatures within the tested range. While the exponential model offered strong predictive power across the tested range, future studies, including additional temperature conditions, may help refine the model and reveal more nuanced post-harvest weight loss dynamics patterns.

While this study focused on weight loss as a primary indicator of fruit quality, the same modelling approach could be applied to other physiological and quality parameters, such as acidity, pH, or colour attributes (e.g., hue angle, lightness). Similar multiplicative effects could be identified by modelling these changes over time and comparing slopes across storage temperatures, enabling a unified framework to assess temperature sensitivity across multiple quality metrics.

8. Implications for Sustainability

The findings of this study highlight the importance of optimal storage conditions in reducing post-harvest losses of fresh produce. By demonstrating how storage temperature plays a key role in influencing the rate of weight loss in apples, the results underscore the role of proper refrigeration in maintaining product quality and minimizing food waste. Notably, the study included storage conditions that simulate typical household environments, reinforcing the relevance of these findings for everyday consumers. Promoting temperature-aware storage practices at both industrial and household levels can help reduce unnecessary spoilage, lower food waste, and support more sustainable consumption patterns.

9. References

Akdemir, S., & Bal, E. (2020). Quality changes in apple in evaporative cooling store. Erwerbs-Obstbau, 62(4). https://doi.org/10.1007/s10341-020-00530-w ISSN: 0014-0309 (Print); 1439-0302 (Online).

Antunglu, G., Nishiyama, Y., & Koide, S. (2004). Electrode configuration and polarity effects on physicochemical properties of electric field treated apples post harvest. Biosystems Engineering, 89(1), 92–102. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2003.11.011 ISSN: 1537-5110 (Print); 1537-5129 (Online).

Boyer, J., & Liu, R. H. (2004). Apple phytochemicals and their health benefits. Nutrition Journal, 3, 5. https://doi.org/10.1186/1475-2891-3-5 ISSN: 1475-2891 (Online).

Bräutigam, K.-R., Jörissen, J., & Priefer, C. (2014). The extent of food waste generation across EU-27: Different calculation methods and the reliability of their results. Waste Management & Research, 32(8), 683–694. https://doi.org/10.1177/0734242X14545374 ISSN: 0734-242X (Print); 1096-3669 (Online).

Farkas, A., Ficzek, G., & Veres, A. (2024). The examination of apple shelf life from consumer storage perspective. Analecta Technica Szegedinensia, 18(3), 1–7. https://doi.org/10.14232/analecta.2024.3.1-7 ISSN: 2064-7964 (Online).

Farkas, C., Fenyvesi, L., & Petróczki, K. (2019). Identification and frequency dependence of viscoelastic parameters during dynamic creep tests on selected pome fruits. AgriEngineering, 1(3), 324–331. https://doi.org/10.3390/agriengineering1030024 ISSN: 2624-7402 (Online).

Farkas, C., Fenyvesi, L., & Petróczki, K. (2021). Golden Delicious almák és Packham körték mechanikai kifáradási mutatóinak összehasonlítása. Élelmiszervizsgálati Közlemények, 67(2), 3465–3478. https://doi.org/10.52091/EVIK-2021/2-5-HUN ISSN: 0422-9576 (Print); 2676-8704 (Online).

Ghabour, R., Kassebi, S., & Korzenszky, P. (2021). Simulation and experiment of apple fruits in domestic fridge. Hungarian Agricultural Research: Environmental Management, Land Use, Biodiversity, 30(2), 11–14. https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.5265 ISSN: 1216-4526 (Print); 3003-9908 (Online).

Hooge, I. E., Oostindjer, M., Aschemann-Witzel, J., Norman, A., Loose, S. M., & Almli, V. L. (2017). This apple is too ugly for me! Consumer preferences for suboptimal food products in the supermarket and at home. Food Quality and Preference, 56, 80–92. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.09.012 ISSN: 0950-3293 (Print); 1873-6343 (Online).

Johnston, J. W., Hewett, E. W., & Hertog, M. (2005). Apple (Malus domestica) softening in the postharvest coolchain: Effects of delayed cooling and shelf-life temperatures. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 33(3), 283–292. https://doi.org/10.1080/01140671.2005.9514423 ISSN: 0114-0671 (Print); 1175-8783 (Online).

Kassebi, S., & Korzenszky, P. (2021). The effect of post-harvest storage on the weight of Golden Delicious apples. Science, Technology and Innovation, 12(1), 7–11. ISSN: n/a (not verified).

Kassebi, S., & Korzenszky, P. (2021). The effect of post-harvest storage on the weight of Golden Delicious apples. Science Technology and Innovation, 13(2), 7–11. https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.5265 ISSN: n/a (not verified).

Kassebi, S., & Korzenszky, P. (2022). The influence of storage temperature on the weight of Golden Delicious. Hungarian Agricultural Engineering, 41, 5–10. https://doi.org/10.17676/HAE.2022.41.5 ISSN: 0864-7410 (Print); 2415-9751 (Online).

Kassebi, S., Farkas, C., Székely, L., Géczy, A., & Korzenszky, P. (2023). Late shelf life saturation of Golden Delicious apple parameters: TSS, weight, and colorimetry. Applied Sciences, 13(1), 159. https://doi.org/10.3390/app13010159 ISSN: 2076-3417 (Online).

Kassebi, S., & Korzenszky, P. (2024). Examination of weight loss and colour changes in Golden Delicious apples under light and dark storage conditions. Progress in Agricultural Engineering Sciences, 20(1), 199–215. https://doi.org/10.1556/446.2024.00135 ISSN: 1786-335X (Print); 1787-0321 (Online).

Khan, B., Ali, S. Z., Shahzad, S., Basharat, M., Ali, J., Jabeen, Z., & Fahmid, S. (2017). Post-harvest quality of apple (Malus domestica Borkh) as influenced by storage conditions. International Journal of Advanced Research in Biological Sciences, 4(7), 154–163. ISSN: 2348-8069 (Online).

Király, I., Kovács, G., Bandi, A., Lakatos, E., Kapcsándi, V., & Székelyhidi, R. (2020). Investigation of the nutritional and health values of apple land varieties. Élelmiszervizsgálati Közlemények, 66(Special Issue I), 32–40. https://eviko.hu/index.php/eviko/article/view/217 ISSN: 0422-9576 (Print); 2676-8704 (Online).

Khorshidi, J. (2010). Storage temperature effects on the post-harvest quality of apple (Malus domestica Borkh. cv. Red Delicious). New York Science Journal, 3, 67–70. ISSN: 1554-0200 (Print); 2375-723X (Online).

Lee, J., Mattheis, J. P., & Rudell, D. R. (2019). High storage humidity affects fruit quality attributes and incidence of fruit cracking in cold-stored 'Royal Gala' apples. HortScience, 54(1), 149–154. https://doi.org/10.21273/HORTSCI13505-18 ISSN: 0018-5345 (Print); 2327-9834 (Online).

Mangaraj, S., & Goswami, T. K. (2008). Respiration rate modelling of Royal Delicious apple at different storage temperatures. Global Science Books. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/44943843/FP_2272-80o-libre.pdf ISSN: n/a.

Monier, V., Mudgal, S., Escalon, V., O'Connor, C., Gibon, T., Anderson, G., & Morton, G. (2010). Preparatory study on food waste across EU-27. European Commission (DG ENV); BIO Intelligence Service. ISSN: n/a.

Normann, A., Röding, M., & Wendin, K. (2019). The influence of color, shape and damage on consumer sensory perception and liking of different apples. Sustainability, 11(17), 4626. https://doi.org/10.3390/su11174626 ISSN: 2071-1050 (Online).

Sheng, L., Edwards, K., Tsai, H.-C., Hanrahan, I., & Zhu, M.-J. (2017). Fate of Listeria monocytogenes on fresh apples under different storage temperatures. Frontiers in Microbiology, 8, 1396. https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01396 ISSN: 1664-302X (Online).

Spengler, R. N. (2019). Origins of the apple: The role of megafaunal mutualism in the domestication of Malus and rosaceous trees. Frontiers in Plant Science, 10, 617. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00617 ISSN: 1664-462X (Online).

Weber, A., Brackmann, A., Thewes, F. R., Both, V., Anese, R. d., & Schorr, M. R. (2012). Relative humidity and its interaction with the storage temperature of 'Gala' apples. Ciência Rural, 42(12), 2159–2165. https://doi.org/10.1590/S0103-84782012001200012 ISSN: 0103-8478 (Print); 1678-4596 (Online).

Xiao, L., Jiang, X., Deng, Y., Xu, K., Duan, X., Wan, K., & Tang, X. (2023). Study on characteristics and lignification mechanism of postharvest banana fruit during chilling injury. Foods, 12(5), 1097. https://doi.org/10.3390/foods12051097 ISSN: 2304-8158 (Online).

Zhang, W., Jiang, H., Cao, J., & Jiang, W. (2021). Advances in biochemical mechanisms and control technologies to treat chilling injury in postharvest fruits and vegetables. Trends in Food Science & Technology, 113, 355–365. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.009 ISSN: 0924-2244 (Print); 1879-3053 (Online).

KORZENSZKY Péter[1], FARKAS Anna[2] ✉, KASSEBI Salma[3], VERES Antal[4]

DOI: https://doi.org/10.52091/EVIK-2025/3-4

Arrived: May 2025 – Accepted: July 2025

A tárolási hőmérséklet alma-tömegveszteségre gyakorolt (multiplikatív) hatásának prediktív modellezése

Kulcsszavak: Golden Delicious alma, eltarthatóság, tárolási hőmérséklet, betakarítás utáni minőség

1. Összegzés

Ez a tanulmány a különböző tárolási körülmények hatását vizsgálja a Golden Delicious alma súlyveszteségére 9 hét alatt. Az almák tárolása öt különböző hőmérsékleti körülmény között (3°C, 5°C, 10°C, 15°C és 24°C) valósult meg, a heti súlymérések egyedileg címkézett mintákon mentek végbe. A súlycsökkenés mértékének becslésére lineáris vegyes hatású modell került alkalmazásra, amely lehetővé tette az egyes csoportok hőmérséklet-specifikus meredekségének kiszámítását. Ezek a meredekségek a 3°C-os referencia állapothoz lettek hasonlítva, amelynek eredménye egy számszerűsíthető szorzó, amely leírja a hőmérséklet súlyvesztésre gyakorolt relatív hatását. Az eredmények azt mutatták, hogy a heti súlycsökkenés minden körülmények között erős lineáris tendenciát mutat, a hőmérsékletnek pedig multiplikatív hatása van: a 24°C-on tárolt almák több, mint ötször gyorsabban veszítettek súlyukból, mint a 3°C-on tárolt almák. Az exponenciális modell még jobban prezentálja a hőmérsékletszintek közötti meredekségi értékek tendenciáját. A javasolt módszer átlátható és értelmezhető keretet biztosít a hőmérséklet hatásának számszerűsítéséhez és kiterjeszthető más élettani paraméterekre is. Ezek az eredmények támogatják a jobb tárolási stratégiák kidolgozását és hozzájárulnak a fenntarthatósági erőfeszítésekhez a betakarítás utáni veszteségek csökkentésével mind az ipari, mind a háztartási környezetben.

[1] Mezőgazdasági és Élelmiszeripari Gépek Tanszék, Műszaki Intézet, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllő

[1] Műszaki Tudományi Doktori Iskola, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllő

[3] Műszaki Tudományi Doktori Iskola, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllő

[4] Matematika és Modellezés Tanszék, Matematika és Természettudományi Alapok Intézet, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllő

✉ Levelező szerző

KORZENSZKY Péter		https://orcid.org/0000-0001-6295-8474
FARKAS Anna	farkas.anna.7@phd.uni-mate.hu	https://orcid.org/0009-0004-4734-6938
KASSEBI Salma		https://orcid.org/0000-0002-3851-4328
VERES Antal		https://orcid.org/0009-0000-4204-6099

2. Bevezetés

A friss gyümölcsök eltarthatóságának optimalizálása kulcsfontosságú tényező mind az élelmiszerlogisztika, mind a fogyasztói szokások fenntartható fejlődése szempontjából. Az alma, különösen a Golden Delicious fajta, fontos szerepet játszik a globális gyümölcskereskedelemben, de a tárolási körülmények, különösen a hőmérséklet, nagy hatással vannak a minőségi paraméterek megőrzésére. A súlycsökkenés az egyik leggyorsabban kimutatható és számszerűsíthető mutatója az eltarthatósági idő romlásának, amely közvetlenül kapcsolódik a vízveszteséghez és a felgyorsult anyagcsere-folyamatokhoz.

Jelen tanulmány célja, hogy megvizsgálja a különböző tárolási körülmények hatását a Golden Delicious alma súlyveszteségére kilenc hét alatt, kvantitatív modellezést alkalmazva, a különböző hőmérsékleten tárolt, egyedileg címkézett almaminták súlymérései alapján. A kapott adatok lehetővé teszik a hőmérséklet súlyvesztésre gyakorolt hatásának pontosabb számszerűsítését, és hozzájárulhatnak a tárolási eljárások hatékonyabb tervezéséhez. A kísérlet eredményei alapján a magasabb tárolási hőmérséklet szignifikánsan növeli a súlyveszteség ütemét.

3. Irodalmi áttekintés

Az élelmiszer-pazarlás az utóbbi években egyre nagyobb aggodalomra ad okot, és egyre nagyobb figyelmet kap a kutatók, az intézmények és a szakpolitika részéről. Számos publikáció dokumentálta az élelmiszerpazarlás mértékét a fogyasztói háztartásokban (Hooge et al., 2019). A Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) szerint a világszerte megtermelt élelmiszerek körülbelül egyharmada - mintegy 1,3 milliárd tonna - veszik kárba évente. Csak az Európai Unióban a háztartások teszik ki az élelmiszerhulladék legnagyobb részét, személyenként évente átlagosan 76 kg-ot termelve (Bräutigam et al., 2014; Monier et al., 2010).

Az élelmiszer-pazarlás kihívására válaszul az elmúlt évtizedben fokozódtak a fenntartható élelmiszertermelésre és -fogyasztásra irányuló erőfeszítések. A tudományos és társadalmi kezdeményezések olyan stratégiákat támogattak, amelyek az élelmiszer-ellátási lánc minden szakaszában - beleértve a tárolást és a betakarítás utáni kezelést is - csökkentik a pazarlást (Normann et al., 2019). Az élelmiszerek között a gyümölcsök és a zöldségek a legromlandóbb kategóriába tartoznak. A termésveszteség jelentős hányada a betakarítás előtti szakaszban, valamint a betakarított termések kezelése közben keletkezik. A betakarítást követő hűtés, a megfelelő páratartalom és a megfelelő atmoszférikus összetétel alapvető fontosságú a tárolási létesítményekben és a csomagolási folyamatokban a friss állapot fenntartása érdekében (Khorshidi et al., 2010; Ghabour et al., 2021).

Az alma (*Malus domestica Borkh.; Rosaceae*) az egyik legjelentősebb gazdasági és kulturális szempontból, valamint tápanyagokban gazdag gyümölcs, amelyet minden mérsékelt éghajlati övezetben termesztenek. (Spengler, 2019) A gyümölcs magjai kivételével az egész gyümölcs ehető; emellett számos más termék is készül belőle: almabor, gyümölcslé, lekvár, kompót, tea, valamint szárított almatermékek. (Boyer, és mtsai., 2004) Világszerte több tízezer almafajta ismert, de az ipari gyümölcstermesztés fajtahasználata túlnyomórészt 5-10 változatára korlátozódik, és részben országonként eltérő. (Király et al., 2020) A nemzetközi felmérések alapján a feldolgozás különböző fázisaiban keletkező veszteségek miatt a termények számottevő része már nem kerül a fogyasztók elé a piacon (Farkas et al., 2021).

A gyümölcsök hűtőtárolásban hosszú ideig frissen eltarthatók, azonban a betakarítás utáni gyümölcstárolás napjaink egyik legjelentősebb nehézségét jelenti (Kassebi et al., 2023). A betakarított alma minőségromlásának minimalizálása érdekében az optimális hőmérséklet a legtöbb esetben 0-3°C között van. A frissen szüretelt gyümölcs hűtőtárolási hőmérsékletre történő gyors lehűtése késlelteti a gyors lágyulás kezdetét (Johnston et al., 2005).

A friss almát akár több hónapig is tárolhatják megfelelő szabályozott légterű hűtőtárolás mellett, fajtától és az alkalmazott technológiától függően (Sheng et al, 2017). A minőség megőrzésének legfontosabb paramétere a tárolási időszak alatt a hőmérséklet és a páratartalom.

A gyümölcsök rendkívül magas víztartalommal rendelkeznek, ennek következtében viszonylag magas anyagcsere-aktivitást mutatnak más növényi eredetű élelmiszerekhez, például a magvakhoz képest. Az említett anyagcsere-aktivitás folytatódik a betakarítás után, így a gyümölcsök többsége romlandó áru. (Antunglu, és mtsai., 2004) Az alacsony hőmérsékleten való tárolás lelassítja a sejtes anyagcserét, ezáltal késlelteti a növény elöregedését, ennek következtében a zöldség-gyümölcs eltarthatósága nő. (Xiao, és mtsai., 2023) Számos tényező befolyásolja a romlás százalékos arányát, amelyek többsége belső eredetű. Ilyen például a szöveti állapot, melyet betakarítás vagy szállítás során különböző mechanikai hatások is befolyásolnak. (Farkas, és mtsai., 2019) A hússal ellentétben például a gyümölcsök és zöldségek élő szervezetek, ennek következtében a növénytől való elválasztás után is lélegeznek, valamint párologtatnak. (Zhang, és mtsai., 2021)

Az alacsony hőmérséklet lassítja a gyümölcsökben a tárolás során lejátszódó élettani és biokémiai érési folyamatokat azáltal, hogy drasztikusan csökkenti a gyümölcs anyagcseréjét, de az ideálisnál alacsonyabb hőmérséklet károsodáshoz vezet azáltal, hogy kiegyensúlyozatlan anyagcserét okoz (Weber et al., 2012). A biológiai reakciók általában minden 10°C-onként két-háromszorosára nőnek (Mangaraj et al., 2008; Farkas et al. 2024).

Az almatárolás egyik kulcsfontosságú tényezője a vízveszteség csökkentése, valamint a relatív magas páratartalom megtartása; ha a tárolás során a nedvességtartalom nem megfelelő, a hűtés a termék vízveszteségéhez vezethet, ami a termék mennyiségének csökkenését, illetve belső romlását eredményezi. A súlyveszteség fontos gazdasági tényező mind a tárolás, mind a szállítás során. A vízveszteség, amelyet az alma a tárolása során szenved, évek óta problémaként jelenik meg az alma tárolása során. A hőmérséklet és a páratartalom a tárolási idő alatt a gyümölcs fajtájától függően változik, ennek okán a tárolóban a környezeti hőmérsékletnek és a relatív páratartalomnak mindenhol azonosnak kell lennie. Ha eltérő, az különböző minőségi veszteséget okoz a termésekben (Akdemir et al., 2020; Kassebi et al., 2021). A magas tárolási páratartalom lassítja a gyümölcs friss tömegének csökkenését, valamint a vízben oldható szárazanyag-tartalom növekedését és a keménységvesztést, valamint késlelteti a gyümölcs érését. Az almahéjának szilárdságcsökkenése és a súlyveszteség kisebb a magas páratartalomban tárolt gyümölcsök esetében, vagyis a magasabb tárolási páratartalom kisebb gyümölcstömeg-veszteséget és nagyobb gyümölcskeménységet eredményez. A relatív páratartalom növekedésével a mikrorepedések száma is emelkedik az almatermésű gyümölcsökben. A magas tárolási páratartalom döntő szerepet játszhat a gyümölcs minőségének megőrzésében azáltal, hogy késlelteti a gyümölcs friss tömegének csökkenését és a gyümölcshús szilárdságának csökkenését, ezáltal hosszabb ideig megőrzi a gyümölcs frissességét. A magasabb tárolási páratartalom hozzájárulhat a gyümölcs repedésének és belső élettani rendellenességeinek, köztük a gyümölcshús felbomlásának előidézéséhez. (Lee, és mtsai., 2019)

A súlyvesztés az egyik legkritikusabb szedés utáni változás a friss termékeknél, különösen az almánál. Ez elsősorban a vízveszteség és a légzés révén következik be, valamint közvetlenül befolyásolja a frissességet, a textúrát és a piacképességet (Khan et al., 2017; Kassebi et al., 2022). Már a gyümölcsök tömegének kismértékű, 3-10% közötti csökkenése is kedvezőtlenül hat, a csökkenés következtében a gyümölcsök összezsugorodnak, ami rontja a látványukat, és gyakran eladhatatlanná teszi őket a romlott megjelenésük miatt (Kassebi and Korzenszky, 2024). Ennek a paraméternek a nyomon követése betekintést nyújt a gyümölcs fiziológiai állapotába és a tárolási környezet hatékonyságába.

A tanulmány célja a különböző hőmérsékleteken, valamint részben eltérő relatív páratartalom mellett 9 héten keresztül tárolt Golden Delicious alma tömegváltozásának elemzése. A súlycsökkenés mértékének számszerűsítésével és a tárolási módok összehasonlításával az eredmények hozzájárulhatnak megfelelőbb tárolási módszerek kialakításához, amelyek gyümölcsök hosszabb idejű frissességét és jobb megjelenését biztosíthatják. Ezáltal a kutatás hozzájárul az élelmiszer-pazarlás csökkentésének és a fenntarthatóbb háztartási fogyasztási szokások előmozdításának tágabb céljához.

4. Anyag és módszer

A Golden Delicious almák különböző környezeti körülmények közötti tárolása lehetővé tette a tárolási hőmérséklet és a relatív páratartalom együttes hatásának vizsgálatát a súlyveszteségre. A fogyasztói környezetet modellezve, a minták kereskedelmi forgalomban kapható, konvencionális háztartási hűtőszekrényekben kerültek tárolásra. Minden esetben a hőmérséklet és páratartalom beállítására sor került.

A kontrollcsoportot (A03) 3±1°C-on és 85±5 % relatív páratartalom (RH%) mellett tároltuk, ami a széleskörben elfogadott kereskedelmi hűtőtárolási körülményeknek felel meg. Ezen a referenciacsoporton kívül három másik beállítás is megvizsgálásra került: 5±1°C és 85±5 % relatív páratartalom (A05), 10±1°C és 85±5 % relatív páratartalom (A10), valamint 15±1°C és 85±5 % relatív páratartalom (A15). A negyedik csoport a szobai körülményeket szimulálva 24±1°C-on, 60±5 %-os csökkentett páratartalom mellett került tárolásra.

A fény gyümölcsminőségre gyakorolt hatásának kiküszöbölése érdekében minden minta sötét, azaz fénymentes környezetben került tárolásra. A tárolási idő hossza korlátozott volt, mivel szobahőmérsékleten tárolt minták gyors minőségromláson mentek keresztül. A teljes tárolási időszak 9 hétig tartott, amely alatt az almák rendszeresen ellenőrzésre kerültek a fizikai és érzékszervi változások szempontjából, különös figyelemmel követve a gyümölcs súlyának alakulását, amely a betakarítás utáni élettani folyamatok, például a vízveszteség és a légzés kulcsfontosságú mutatója. A kísérleti terv célja a hőmérséklet és a relatív páratartalom alma tartósítására gyakorolt együttes hatásának értékelése, a súlyvesztés dinamikájára összpontosítva. A vizsgálatból származó felismerések segíthetik a Golden Delicious alma vizuális és érzékszervi minőségének

hosszabb tárolás során történő megőrzését célzó optimális tárolási stratégiák kidolgozását.

Összesen 49 alma került mérésre heti rendszerességgel a 9 hét alatt. A minták mennyisége tárolási csoportonként változott: Az A03, A15 és A24 csoportba 13 alma, az A05 és A10 csoportba pedig 5 alma került felvételre. Minden alma egyedi címkével vált azonosíthatóvá, annak érdekében, hogy az ismételt mérések lehetségesek legyenek. A súly egy KPZ 2-05-4 digitális mérleg (Hamburg, Németország; mérési tartomány: 0-6 kg, pontosság: ±0,2 g) használatával került rögzítésre. A csoportméretek eltérése ellenére a lineáris vegyes hatású modell alkalmazása - véletlenszerű metszéspontokkal és almánként ismételt mérésekkel - olyan statisztikailag robusztus keretet biztosított, amely figyelembe veszi az egyéni változékonyságot és az egyenlőtlen csoportméreteket.

A gyümölcsök súlya a tárolás során fokozatosan csökken, amellyel együtt magának az almának a minősége is romlik. (Khan et al., 2017; Kassebi et al., 2022)

A súlyveszteség, mint elsődleges mérési paraméter közvetlenül kapcsolódik a gyümölcs frissességéhez, szilárdságához és eladhatóságához. Az alma a tárolás során elsősorban a vízveszteség miatt veszít súlyából, ami ronthatja a textúra minőségét és a fogyasztói elfogadhatóságot. E folyamat időbeli nyomon követése alapvető betekintést nyújt a gyümölcs fiziológiai állapotába és a tárolási körülmények hatékonyságába.

Fontos megjegyezni, hogy a vizsgálati csoportok között nemcsak a hőmérséklet, hanem a relatív páratartalom is eltért (különösen a 24°C-os csoport esetében), ezért az eredmények nem kizárólag a hőmérséklet hatásának tulajdoníthatók.

5. A hőmérséklet hatásainak modellezése

Az egyes almák súlyvesztesége heti szinten $\frac{w_{i,t}-w_{i,0}}{w_{i,0}}$ került meghatározásra, mint a súlyuk relatív százalékos változása a 0. heti kezdeti súlyhoz képest:

$$\text{Súlyveszteség}_{i,t} = \quad \cdot 100 \ [\%], \tag{1}$$

ahol $W_{i,t}$ az i-edik alma súlya a t héten, $W_{i,0}$ pedig az i-edik alma kezdeti súlya. Ez a transzformáció biztosította, hogy minden érték nulláról induljon, és közvetlenül összehasonlítható legyen az almák és a hőmérsékleti csoportok között.

A tárolási hőmérséklet és a súlyveszteség mértéke közötti kapcsolat modellezésére lineáris vegyes hatású modell került alkalmazásra. A modell az időt (hetek), a tárolási hőmérsékletet és ezek kölcsönhatását tartalmazza állandó hatásként, a hőmérsékletcsoportokba beágyazott egyedi almákra vonatkozó véletlenszerű interceptekkel. Mivel a súlyveszteség minden értéke a nulladik héthez viszonyítva került meghatározásra, a modell metszéspont nélküli, így a meredekségeket közvetlenül heti veszteségrátaként lehet értelmezni.

A linearitásra és a normális eloszlású maradékokra vonatkozó feltételezéseket vizuálisan megvizsgálva sérülés nem található. A véletlenszerű metszéspontok almánként figyelembe veszik az ismételt mérések közötti egyéni változékonyságot.

Ebből a modellből az egyes T hőmérsékletcsoportok meredeksége kivonásra került, amelyet a „Meredekség" (T) jelöl.

A standard hűtőtárolási körülményekhez (3°C) $\frac{\text{Meredekség (T)}}{\text{Meredekség (3)}}$ viszonyított multiplikatív hatás meghatározása és kiszámítása a következőképpen történik:

$$\text{Szorzó (T)} = \quad [—]. \tag{2}$$

Ez azt fejezi ki, hogy az alma mennyivel gyorsabban veszít súlyából T hőmérsékleten, mint a 3°C-os referenciaérték.

Végül a meredekség és a hőmérséklet közötti kapcsolat lineáris és exponenciális regresszióval modellezhető.

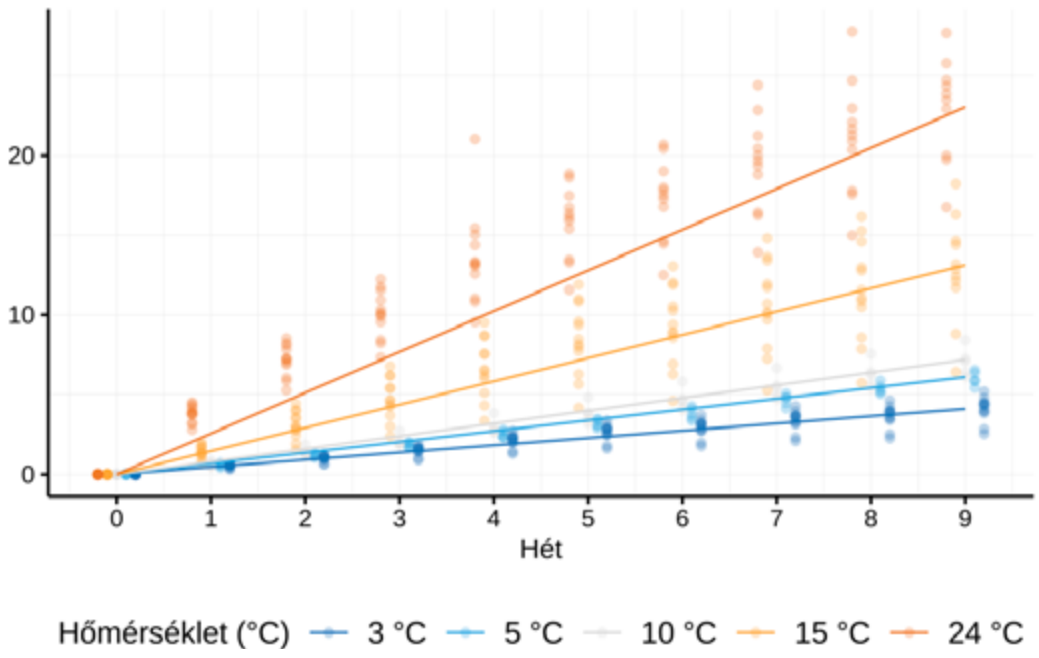
Az eredmények kiértékelése statisztikai módszerek alkalmazásával történt az R-Studio szoftverben.

A súlycsökkenési trendek LMM (Linear Mixed Model — lineáris vegyes hatású modell) segítségével kerültek modellezésre az lme4 csomag lmer() függvényével, az időt és a hőmérsékletet fix hatásként, az alma azonosítóját pedig véletlen hatásként megadva. A tárolási hőmérsékletnek a súlycsökkenés mértékére gyakorolt hatásának vizsgálatához az LMM meredekségértékeinek segítségével a 3°C-os alapértékhez viszonyítása során a relatív szorzók kiszámíthatóak. Ezekre a szorzókra egy $y=a \cdot exp(bT)$ alakú exponenciális modellt illesztettünk nemlineáris legkisebb négyzetek segítségével (nlsLM() a minpack.lm csomagból). Mivel a hagyományos R^2 értékeket nemlineáris modellek esetében nem közlik, a pszeudo-R^2 1-SSR/SST értékként számolható ki, ahol az SSR a négyzetes reziduumok összege, az SST pedig a megfigyelt szorzók négyzeteinek összege.

6. Eredmények

A lineáris vegyes hatású modell alapján szemléltetett fogyási tendenciák időben konzisztens, közel lineáris változást mutatnak minden egyes hőmérsékleti feltétel esetében. (**1. ábra**) A nyers adatpontok, amelyek 9 héten keresztül minden egyes almára vonatkozóan láthatók, szorosan illeszkednek a modellből levezetett trendvonalakhoz. Mindegyik vonal 0 %-nál kezdődik, és a vegyes hatású modellből becsült heti meredekségnek megfelelően emelkedik. A nyers adatok és a csoportspecifikus meredekségek közötti kiváló illeszkedés alátámasztja a modell érvényességét, és hangsúlyozza a súlyvesztés dinamikájának erős hőmérsékletfüggését.

A hőmérséklet emelkedésével tapasztalt súlyveszteség-növekedés összhangban van a gyümölcsök élettani folyamataival, mivel a magasabb hőmérséklet fokozza a légzési intenzitást és a párologtatást, ezáltal gyorsítva a vízveszteséget.



1. ábra: Tömegveszteség az idő múlásával a különböző tárolási hőmérsékleten
Az egyes almák heti súlyvesztesége 9 hetes tárolási időszak alatt öt hőmérsékleti körülmény között, modellalapú trendvonalakkal.

Minden pont egy alma százalékos súlyveszteségét jelzi a 0. heti kezdeti súlyhoz képest. Az adatok öt tárolási hőmérsékletre (3°C, 5°C, 10°C, 15°C és 24°C) vonatkoznak, a trendvonalak pedig a csoport-specifikus lineáris modell meredekségét mutatják, amelyek egy lineáris vegyes hatású modellből származnak, metszéspontok nélkül. A színes vonalak a (0;0) pontnál kezdődnek és az egyes tárolási feltételek becsült átlagos heti súlyveszteségét tükrözik.

A lineáris vegyes hatású modell kimutatta a tárolási hőmérséklet statisztikailag szignifikáns hatását a Golden Delicious alma heti súlyveszteségére. A heti súlyveszteséget jelző meredekségek minden egyes hőmérsékleti csoportra kimutathatók azáltal, hogy a kiindulási meredekség (3°C) és a megfelelő interakciós kifejezések összeadásra kerülnek. Minden meredekség szignifikánsan különbözik a 3°C-os referenciától, 5°C felett minden feltétel esetében $p<0,001$ (lásd az 1. táblázatot).

1. táblázat

Heti súlyveszteség (meredekség) és relatív szorzók az egyes tárolási hőmérsékleti csoportok esetében.

Hőmérséklet [°C]	Meredekség [% heti]	Multiplikatív hatás [-]
3 (kontroll)	0,456	1,00
5	0,677	1,49
10	0,798	1,75
15	1,458	3,20
24	2,558	5,61

A meredekségek lineáris vegyes hatású modell segítségével kerültek becslésre, amely magába foglalja az időt, a hőmérsékletet, valamint ezek kölcsönhatását, véletlen hatásként pedig az Apple ID-t. A multiplikatív hatások azt jelzik, hogy az egyes hőmérsékleteken az almák hányszor gyorsabban veszítenek súlyukból a 3°C-os referenciaértékhez képest.

A meredekség 3°C-on 0,456 % volt hetente, míg a magasabb hőmérsékleten a súlycsökkenés lényegesen gyorsabb volt, 24°C-on elérte a heti 2,558 %-ot. Ezek az értékek a multiplikatív hatások kiszámításához használhatók, amelyek azt mutatják, hogy a 3°C-hoz képest hányszor gyorsabb súlyvesztés következett be. A multiplikatív hatás 24°C-on körülbelül 5,6-szor nagyobb volt, mint a kontrollnál.

A hőmérséklet és a súlycsökkenés mértéke közötti kapcsolat feltárása érdekében az egyes tárolási körülményekre becsült meredekségértékek a megfelelő tárolási hőmérséklet függvényében lettek ábrázolva. Két előrejelző - egy lineáris és egy exponenciális - modell illeszthető ezekre a meredekségi értékekre.

A lineáris modell a következőképpen határozható meg:

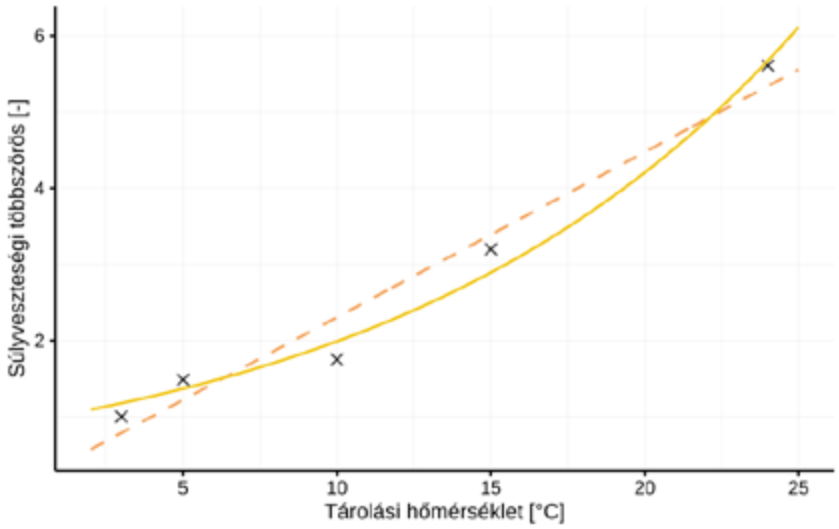
$$y = 0.2168 \cdot T + 0.1369 \tag{3}$$

valamint az exponenciális modell a következőképpen határozható meg:

$$y = 0.9405 \cdot e^{0.0745T} \tag{4}$$

ahol *y* a heti súlyveszteség mértéke (százalékban kifejezve hetente) és *T* a tárolási hőmérséklet Celsius fokban.

Mindkét modell jó illeszkedést ért el (lineáris R^2 = 0,962, korrigált R^2 = 0,949; exponenciális pszeudo R^2 = 0,993), azonban az exponenciális modell pontosabban megragadta a súlyvesztés gyorsuló tendenciáját a magasabb hőmérsékleten, ezért erre a modellre került a választás az előrejelzési célokra (**2. ábra**).



2. ábra: Súlyveszteségi többszörös és tárolási hőmérséklet

A Golden Delicious alma relatív súlyveszteségének szorzói a különböző tárolási hőmérsékleteken (alapérték: 3°C). Lineáris és exponenciális illesztést alkalmazva; az exponenciális modell a magasabb hőmérsékleteken pontosabban megragadta a tendenciát.

A pontok az egyes hőmérsékleti csoportok lineáris vegyes hatású modell alapján becsült heti fogyási arányait (meredekség) jelölik. A szaggatott narancssárga vonal a lineáris regressziós illeszkedést (R^2=0,962), a folytonos sárga görbe pedig az exponenciális regressziós illeszkedést (R^2=0,986) mutatja. Az exponenciális modell jobb illeszkedést biztosított, ami azt jelzi, hogy a súlyveszteség a hőmérséklet emelkedésével nőtt.

A mért meredekségből levezetett exponenciális modell lehetővé teszi a heti súlyveszteség előrejelzését olyan tárolási hőmérsékleteken, amelyek ebben a tanulmányban közvetlenül nem kerültek megvizsgálásra, különösen a 3-24°C-os tartományban. Ezen tartományon túli becslésnél további vizsgálatok szükségesek, különösen ott, ahol az élettani folyamatok eltolódhatnak (pl. fagypont közelében vagy magas légzési küszöbértékeknél).

A hőmérséklet emelkedésével tapasztalt súlyveszteség-növekedés összhangban van az élettani folyamatok, például a légzés és a párologtatás hőmérsékletfüggő jellegével. Az elért eredmények megegyeznek a korábbi tanulmányokban megállapítottakkal, melyek szerint a gyümölcsök víztartalmának csökkenése a tárolási hőmérséklet emelkedésével fokozódik (Khan et al., 2017; Weber et al., 2012). A jelen tanulmányban megfigyelt változások mértékét részben a relatív páratartalom ingadozásai is befolyásolhatták.

7. Következtetések

Ez a vizsgálat egyértelmű összefüggést mutatott ki a tárolási hőmérséklet és a Golden Delicious alma 9 hét alatt bekövetkező súlyvesztése között. Egy lineáris vegyes hatású modell alkalmazásával meg lehet becsülni a heti súlycsökkenés mértékét öt hőmérsékleti körülmény között, amely multiplikatív hatásként kifejezhető az általánosan használt 3°C-os hűtőtároláshoz viszonyítva. A tanulmány újdonsága abban rejlik, hogy a hőmérséklet hatását multiplikatív módon, modellalapú megközelítéssel számszerűsíti, amely lehetővé teszi a különböző tárolási feltételek közötti közvetlen összehasonlítást.

A magasabb hőmérséklet jelentősen meredekebb súlycsökkenést eredményezett, a 24°C-on tárolt alma több, mint ötször gyorsabban veszített súlyából, mint a 3°C-on tárolt alma. Ezeket az eredményeket alátámasztotta, hogy a lineáris és az exponenciális modell is jól illeszkedett a kapott meredekséghez, és az exponenciális modell írta le legjobban a gyorsuló tendenciát. A relatív páratartalom jelentős hatással van a gyümölcsök súlyveszteségére, mivel az alacsonyabb páratartalom növeli a párolgás mértékét. Ennek megfelelően a 24 °C-os környezetben végzett vizsgálat során a nagyobb súlyveszteség nem csupán a magasabb hőmérsékletnek, hanem az alacsonyabb relatív páratartalomnak is tulajdonítható.

Az illesztett modell lehetővé teszi a súlyveszteség mértékének előrejelző becslését a vizsgált tartományon belüli köztes hőmérsékleteken. Az exponenciális modell a vizsgált tartományban erős előrejelző képességet nyújtott, azonban a jövőbeli vizsgálatok, beleértve további hőmérsékleti feltételeket is, segíthetnek a modell finomításában, valamint a betakarítás utáni súlyvesztési dinamika árnyaltabb mintázatainak feltárásában.

Bár ez a tanulmány a súlyveszteségre, mint a gyümölcsminőség elsődleges mutatójára összpontosított, ugyanez a modellezési megközelítés alkalmazható más fiziológiai és minőségi paraméterekre is, mint például a savtartalom, a pH vagy a színjellemzők (pl. árnyalatszög, világosság). Hasonló multiplikatív hatásokat lehetne azonosítani e változások időbeli modellezésével és a különböző tárolási hőmérsékletek meredekségének összehasonlításával, ami lehetővé tenné egy egységes keretrendszer létrehozását a hőmérsékletérzékenység értékelésére több minőségi mérőszám tekintetében.

8. A fenntarthatósággal kapcsolatos következmények

A tanulmány eredményei rávilágítanak az optimális tárolási körülmények fontosságára a friss termések betakarítás utáni veszteségének csökkentése érdekében. Az eredmények alapján a tárolási hőmérséklet jelentős hatással van az alma súlyveszteségének mértékére, azonban a relatív páratartalom szerepe is figyelembe veendő, továbbá kiemeli a megfelelő hűtés szerepét a termékminőség megőrzésében, valamint hozzájárul az élelmiszerpazarlás csökkentéséhez. A vizsgálatban olyan tárolási körülmény vizsgálatára is sor került, amely szimulálja a tipikus háztartási környezetet, ezáltal megerősíti ezen eredmények jelentőségét a mindennapi fogyasztók számára. A hőmérséklet-tudatos tárolási gyakorlatok előmozdítása mind ipari, mind háztartási szinten segíthet a felesleges romlás csökkentésében, az élelmiszer-pazarlás mérséklésében és a fenntarthatóbb fogyasztási szokások támogatásában.

9. Felhasznált irodalom

Akdemir, S., & Bal, E. (2020). Quality changes in apple in evaporative cooling store. Erwerbs-Obstbau, 62(4). https://doi.org/10.1007/s10341-020-00530-w ISSN: 0014-0309 (Print); 1439-0302 (Online).

Antunglu, G., Nishiyama, Y., & Koide, S. (2004). Electrode configuration and polarity effects on physicochemical properties of electric field treated apples post harvest. Biosystems Engineering, 89(1), 92–102. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2003.11.011 ISSN: 1537-5110 (Print); 1537-5129 (Online).

Boyer, J., & Liu, R. H. (2004). Apple phytochemicals and their health benefits. Nutrition Journal, 3, 5. https://doi.org/10.1186/1475-2891-3-5 ISSN: 1475-2891 (Online).

Bräutigam, K.-R., Jörissen, J., & Priefer, C. (2014). The extent of food waste generation across EU-27: Different calculation methods and the reliability of their results. Waste Management & Research, 32(8), 683–694. https://doi.org/10.1177/0734242X14545374 ISSN: 0734-242X (Print); 1096-3669 (Online).

Farkas, A., Ficzek, G., & Veres, A. (2024). The examination of apple shelf life from consumer storage perspective. Analecta Technica Szegedinensia, 18(3), 1–7. https://doi.org/10.14232/analecta.2024.3.1-7 ISSN: 2064-7964 (Online).

Farkas, Cs., Fenyvesi, L., & Petróczki, K. (2019). Identification and frequency dependence of viscoelastic parameters during dynamic creep tests on selected pome fruits. AgriEngineering, 1(3), 324–331. https://doi.org/10.3390/agriengineering1030024 ISSN: 2624-7402 (Online).

Farkas, Cs., Fenyvesi, L., & Petróczki, K. (2021). Golden Delicious almák és Packham körték mechanikai kifáradási mutatóinak összehasonlítása. Élelmiszervizsgálati Közlemények, 67(2), 3465–3478. https://doi.org/10.52091/EVIK-2021/2-5-HUN ISSN: 0422-9576 (Print); 2676-8704 (Online).

Ghabour, R., Kassebi, S., & Korzenszky, P. (2021). Simulation and experiment of apple fruits in domestic fridge. Hungarian Agricultural Research: Environmental Management, Land Use, Biodiversity, 30(2), 11–14. https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.5265 ISSN: 1216-4526 (Print); 3003-9908 (Online).

Hooge, I. E., Oostindjer, M., Aschemann-Witzel, J., Norman, A., Loose, S. M., & Almli, V. L. (2017). This apple is too ugly for me! Consumer preferences for suboptimal food products in the supermarket and at home. Food Quality and Preference, 56, 80–92. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.09.012 ISSN: 0950-3293 (Print); 1873-6343 (Online).

Johnston, J. W., Hewett, E. W., & Hertog, M. (2005). Apple (Malus domestica) softening in the postharvest coolchain: Effects of delayed cooling and shelf-life temperatures. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 33(3), 283–292. https://doi.org/10.1080/01140671.2005.9514423 ISSN: 0114-0671 (Print); 1175-8783 (Online).

Kassebi, S., & Korzenszky, P. (2021). The effect of post-harvest storage on the weight of Golden Delicious apples. Science, Technology and Innovation, 12(1), 7–11. ISSN: n/a (not verified).

Kassebi, S., & Korzenszky, P. (2021). The effect of post-harvest storage on the weight of Golden Delicious apples. Science Technology and Innovation, 13(2), 7–11. https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.5265 ISSN: n/a (not verified).

Kassebi, S., & Korzenszky, P. (2022). The influence of storage temperature on the weight of Golden Delicious. Hungarian Agricultural Engineering, 41, 5–10. https://doi.org/10.17676/HAE.2022.41.5 ISSN: 0864-7410 (Print); 2415-9751 (Online).

Kassebi, S., Farkas, Cs., Székely, L., Géczy, A., & Korzenszky, P. (2023). Late shelf life saturation of Golden Delicious apple parameters: TSS, weight, and colorimetry. Applied Sciences, 13(1), 159. https://doi.org/10.3390/app13010159 ISSN: 2076-3417 (Online).

Kassebi, S., & Korzenszky, P. (2024). Examination of weight loss and colour changes in Golden Delicious apples under light and dark storage conditions. Progress in Agricultural Engineering Sciences, 20(1), 199–215. https://doi.org/10.1556/446.2024.00135 ISSN: 1786-335X (Print); 1787-0321 (Online).

Khan, B., Ali, S. Z., Shahzad, S., Basharat, M., Ali, J., Jabeen, Z., & Fahmid, S. (2017). Post-harvest quality of apple (Malus domestica Borkh) as influenced by storage conditions. International Journal of Advanced Research in Biological Sciences, 4(7), 154–163. ISSN: 2348-8069 (Online).

Király, I., Kovács, G., Bandi, A., Lakatos, E., Kapcsándi, V., & Székelyhidi, R. (2020). Investigation of the nutritional and health values of apple land varieties. Élelmiszervizsgálati Közlemények, 66(Special Issue I), 32–40. https://eviko.hu/index.php/eviko/article/view/217 ISSN: 0422-9576 (Print); 2676-8704 (Online).

Khorshidi, J. (2010). Storage temperature effects on the post-harvest quality of apple (Malus domestica Borkh. cv. Red Delicious). New York Science Journal, 3, 67–70. ISSN: 1554-0200 (Print); 2375-723X (Online).

Lee, J., Mattheis, J. P., & Rudell, D. R. (2019). High storage humidity affects fruit quality attributes and incidence of fruit cracking in cold-stored 'Royal Gala' apples. HortScience, 54(1), 149–154. https://doi.org/10.21273/HORTSCI13505-18 ISSN: 0018-5345 (Print); 2327-9834 (Online).

Mangaraj, S., & Goswami, T. K. (2008). Respiration rate modelling of Royal Delicious apple at different storage temperatures. Global Science Books. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/44943843/FP_2272-80o-libre.pdf ISSN: n/a.

Monier, V., Mudgal, S., Escalon, V., O'Connor, C., Gibon, T., Anderson, G., & Morton, G. (2010). Preparatory study on food waste across EU-27. European Commission (DG ENV); BIO Intelligence Service. ISSN: n/a.

Normann, A., Röding, M., & Wendin, K. (2019). The influence of color, shape and damage on consumer sensory perception and liking of different apples. Sustainability, 11(17), 4626. https://doi.org/10.3390/su11174626 ISSN: 2071-1050 (Online).

Sheng, L., Edwards, K., Tsai, H.-C., Hanrahan, I., & Zhu, M.-J. (2017). Fate of Listeria monocytogenes on fresh apples under different storage temperatures. Frontiers in Microbiology, 8, 1396. https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01396 ISSN: 1664-302X (Online).

Spengler, R. N. (2019). Origins of the apple: The role of megafaunal mutualism in the domestication of Malus and rosaceous trees. Frontiers in Plant Science, 10, 617. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00617 ISSN: 1664-462X (Online).

Weber, A., Brackmann, A., Thewes, F. R., Both, V., Anese, R. d., & Schorr, M. R. (2012). Relative humidity and its interaction with the storage temperature of 'Gala' apples. Ciência Rural, 42(12), 2159–2165. https://doi.org/10.1590/S0103-84782012001200012 ISSN: 0103-8478 (Print); 1678-4596 (Online).

Xiao, L., Jiang, X., Deng, Y., Xu, K., Duan, X., Wan, K., & Tang, X. (2023). Study on characteristics and lignification mechanism of postharvest banana fruit during chilling injury. Foods, 12(5), 1097. https://doi.org/10.3390/foods12051097 ISSN: 2304-8158 (Online).

Zhang, W., Jiang, H., Cao, J., & Jiang, W. (2021). Advances in biochemical mechanisms and control technologies to treat chilling injury in postharvest fruits and vegetables. Trends in Food Science & Technology, 113, 355–365. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.009 ISSN: 0924-2244 (Print); 1879-3053 (Online).

SZALAY Anna[1]

Nemzeti szabványosítási hírek

A következő felsorolásban szereplő szabványok megvásárolhatók vagy megrendelhetők az MSZT Szabványboltban (1082 Budapest VIII., Horváth Mihály tér 1., telefon: 456-6893, telefax: 456-6841, e-mail: kiado@mszt.hu; levélcím: Budapest 9., Pf. 24, 1450), illetve elektronikus formában beszerezhetők a https://ugyintezes.mszt.hu/webaruhaz/szabvany-lista címen.

A nemzetközi/európai szabványokat bevezetjük magyar nyelven, valamint magyar nyelvű címoldallal és angol nyelvű tartalommal. A magyar nyelven bevezetett nemzetközi/európai szabványok esetén külön feltüntetjük a magyar nyelvű hozzáférést.

2025. június – 2025. augusztus hónapban bevezetett szabványok:

07.100.30 Élelmiszer-mikrobiológia

MSZ EN 18033:2025 Élelmiszerek eredetiségvizsgálata. A ló-DNS mennyiségi meghatározása az emlős-DNS-hez viszonyítva a nyers marhahúsban

MSZ EN ISO 6579-4:2025 Az élelmiszerlánc mikrobiológiája. Horizontális módszer a *Salmonella* kimutatására, számlálására és szerotipizálására. 4. rész: A monofázisos *Salmonella* Typhimurium (1,4,[5],12:i:-) azonosítása polimeráz-láncreakcióval (PCR) (ISO 6579-4:2025)

MSZ EN ISO 6888-1:2025 EV Az élelmiszerlánc mikrobiológiája. Horizontális módszer a koagulázpozitív sztafilokokkuszok (*Staphylococcus aureus* és más fajok) számának meghatározására. 1. rész: Baird–Parker-agar tápközeges módszer (ISO 6888-1:2021 + Amd 1:2023) EGYESÍTETT VÁLTOZAT – Az MSZ EN ISO 6888-1:2008 és az MSZ EN ISO 6888-1:1999/A2:2018 helyett –

13.020.55 Bioalapú termékek

MSZ EN 18034:2025 Algák és algából készült termékek. Mintavételi és elemzési módszerek. A klorofill-*a*-tartalom meghatározása

13.060 Vízminőség

MSZ EN ISO 13165-3:2025 Vízminőség. Rádium-226. 3. rész: Csapadékképzést követő gamma-spektrometriás vizsgálati módszer (ISO 13165-3:2024) – Az MSZ EN ISO 13165-3:2020 helyett –

67 Élelmiszeripar

67.040 Élelmiszertermékek általában

MSZ EN IEC 63169:2020/A1:2025 Villamos üzemű háztartási és hasonló jellegű hűtő- és fagyasztókészülékek. Élelmiszer-tartósítás (IEC 63169:2020/AMD1:2024) – Az MSZ EN IEC 63169:2021 módosítása –

67.060 Gabonafélék, hüvelyesek és a belőlük származó termékek

MSZ EN ISO 5530-1:2025 Búzaliszt. A tészta fizikai jellemzői. 1. rész: A vízfelvevő képesség és a reológiai tulajdonságok meghatározása farinográffal (ISO 5530-1:2025) – Az MSZ EN ISO 5530-1:2015 helyett –

MSZ EN ISO 5530-2:2025 Búzaliszt. A tészta fizikai jellemzői. 2. rész: A reológiai tulajdonságok meghatározása extenzográffal (ISO 5530-2:2025) – Az MSZ ISO 5530-2:2013 helyett –

MSZ EN ISO 17715:2025 Búzaliszt (*Triticum aestivum* L.). A keményítősérülés mérése amperometriás módszerrel (ISO 17715:2025) – Az MSZ EN ISO 17715:2015 helyett –

67.120 Hús, hústermékek és egyéb állati termékek

MSZ ISO 7158:2025 Hús és húskészítmények. A nitrit- és nitráttartalom meghatározása. Ionkromatográfiás módszer

[1] Magyar Szabványügyi Testület (MSZT)

67.200 Étolajok és -zsírok. Olajmagvak

MSZ EN 14538:2025 Zsír- és olajszármazékok. Zsírsav-metil-észter (FAME). A Ca-, Mg-, Na-, K- és P-tartalom optikai emissziós spektrumanalízises meghatározása induktív csatolású plazmával (ICP OES) – Az MSZ EN 14538:2006 helyett –

MSZ EN ISO 3961:2025 Állati és növényi zsírok és olajok. A jódszám meghatározása (ISO 3961:2024) – Az MSZ EN ISO 3961:2018 helyett –

MSZ EN ISO 18363-2:2025 Állati és növényi zsírok és olajok. A zsírsavakhoz kötött klór-propándiolok (MCPD-k) és a glicidol meghatározása GC/MS-sel. 2. rész: Módszer a 2-MCPD, a 3-MCPD és a glicidol lassú lúgos átészterezésére és mérésére (ISO 18363-2:2025) – Az MSZ EN ISO 18363-2:2019 helyett –

67.260 Élelmiszeripari üzemek és berendezések

MSZ EN 15180:2025 Élelmiszeripari gépek. Élelmiszeripari osztógépek. Biztonsági és higiéniai követelmények – Az MSZ EN 15180:2015 helyett –

Anna SZALAY[1]

Review of National Standardization

The following Hungarian standards are commercially available at MSZT (Hungarian Standards Institution, H-1082 Budapest, Horváth Mihály tér 1., phone: +36 1 456 6893, fax: +36 1 456 6841, e-mail: kiado@mszt.hu, postal address: H-1450 Budapest 9., Pf. 24) or via website: https://ugyintezes.mszt.hu/webaruhaz/szabvanylista.

Published national standards from June 2025 to August 2025

07.100.30 Food microbiology

MSZ EN 18033:2025 Food authenticity. Quantitation of equine DNA relative to mammalian DNA in raw beef (meat)

MSZ EN ISO 6579-4:2025 Microbiology of the food chain. Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of *Salmonella*. Part 4: Identification of monophasic *Salmonella* Typhimurium (1,4,[5],12:i:-) by polymerase chain reaction (PCR) (ISO 6579-4:2025)

MSZ EN ISO 6888-1:2025 EV Microbiology of the food chain. Horizontal method for the enumeration of coagulase-positive staphylococci (*Staphylococcus aureus* and other species). Part 1: Method using Baird–Parker agar medium (ISO 6888-1:2021 + Amd 1:2023) CONSOLIDATED VERSION – which has withdrawn the MSZ EN ISO 6888-1:2008 and MSZ EN ISO 6888-1:1999/A2:2018 –

13.020.55 Biobased products

MSZ EN 18034:2025 Algae and algae products. Methods of sampling and analysis. Determination of chlorophyll a content

13.060 Water quality

MSZ EN ISO 13165-3:2025 Water quality. Radium-226. Part 3: Test method using coprecipitation and gamma-ray spectrometry (ISO 13165-3:2024) – which has withdrawn the MSZ EN ISO 13165-3:2020 –

67 Food technology

67.040 Food products in general

MSZ EN IEC 63169:2020/A1:2025 Electrical household and similar cooling and freezing appliances. Food preservation (IEC 63169:2020/AMD1:2024) – which is amendment of MSZ EN IEC 63169:2021 –

67.060 Cereals, pulses and derived products

MSZ EN ISO 5530-1:2025 Wheat flour. Physical characteristics of doughs. Part 1: Determination of water absorption and rheological properties using a farinograph (ISO 5530-1:2025) – which has withdrawn the MSZ EN ISO 5530-1:2015 –

MSZ EN ISO 5530-2:2025 Wheat flour. Physical characteristics of doughs. Part 2: Determination of rheological properties using an extensograph (ISO 5530-2:2025) – which has withdrawn the MSZ ISO 5530-2:2013 –

MSZ EN ISO 17715:2025 Flour from wheat (*Triticum aestivum* L.). Amperometric method for starch damage measurement (ISO 17715:2025) – which has withdrawn the MSZ EN ISO 17715:2015 –

67.120 Meat, meat products and other animal produce

MSZ ISO 7158:2025 Meat and meat products. Determination of nitrite and nitrate content. Ion chromatography method

[1] Hungarian Standards Institution

67.200 Edible oils and fats. Oilseeds

MSZ EN 14538:2025 Fat and oil derivatives. Fatty acid methyl ester (FAME). Determination of Ca, Mg, Na, K and P content by optical emission spectral analysis with inductively coupled plasma (ICP OES) – which has withdrawn the MSZ EN 14538:2006 –

MSZ EN ISO 3961:2025 Animal and vegetable fats and oils. Determination of iodine value (ISO 3961:2024) – which has withdrawn the MSZ EN ISO 3961:2018 –

MSZ EN ISO 18363-2:2025 Animal and vegetable fats and oils. Determination of fatty-acid-bound chloropropanediols (MCPDs) and glycidol by GC/MS. Part 2: Method using slow alkaline transesterification and measurement for 2-MCPD, 3-MCPD and glycidol (ISO 18363-2:2025) – which has withdrawn the MSZ EN ISO 18363-2:2019 –

67.260 Plants and equipment for the food industry

MSZ EN 15180:2025 Food processing machinery. Food depositors. Safety and hygiene requirements – which has withdrawn the MSZ EN 15180:2015 –

For further information please contact Ms Anna Szalay, sector manager on food and agriculture, e-mail: a.szalay@mszt.hu

Szerzőink / Authors

BARÓTI Anasztázia
Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal, Élelmiszerlánc-biztonsági Laboratórium Igazgatóság, Mikrobiológiai Nemzeti Referencia Laboratórium / National Food Chain Safety Office, Food Chain Safety Laboratory Directorate, Microbiological National Reference Laboratory

BATHÓ Attila
Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal, Élelmiszerlánc-biztonsági Laboratórium Igazgatóság, Mikrobiológiai Nemzeti Referencia Laboratórium / National Food Chain Safety Office, Food Chain Safety Laboratory Directorate, Microbiological National Reference Laboratory

BENKE Dénes
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Természetvédelmi Intézet, Sopron / University of Sopron, Faculty of Forestry, Institute of Environmental and Nature Conservation, Sopron

FARKAS Anna
Műszaki Tudományi Doktori Iskola, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllő / Doctoral School of Mechanical Engineering, Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Gödöllő

HOFMANN Tamás
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Természetvédelmi Intézet, Sopron / University of Sopron, Faculty of Forestry, Institute of Environmental and Nature Conservation, Sopron

IPACS-SZABÓ István
Pécsi Tudományegyetem Szőlészeti és Borászati Kutatóintézet, Pécs / University of Pécs, Institute of Viticulture and Oenology, Pécs

Salma KASSEBI
Műszaki Tudományi Doktori Iskola, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllő / Doctoral School of Mechanical Engineering, Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Gödöllő

KORZENSZKY Péter
Mezőgazdasági és Élelmiszeripari Gépek Tanszék, Műszaki Intézet, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllő / Department of Farm and Food Machinery, Institute of Technology, Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Gödöllő

KŐRÖSI László
Pécsi Tudományegyetem Szőlészeti és Borászati Kutatóintézet, Pécs / University of Pécs, Institute of Viticulture and Oenology, Pécs

Hatem OKBA
Pécsi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar Biokémiai és Orvosi Kémiai Intézet, Pécs / University of Pécs, Faculty of Medicine, Institute of Biochemistry and Medical Chemistry, Pécs
Pécsi Tudományegyetem Egészségtudományi Kar Egészségtudományi Doktori Iskola, Pécs / University of Pécs, Faculty of Medicine, Doctoral School of Health Sciences, Pécs

SZABÓ Éva
Pécsi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar Biokémiai és Orvosi Kémiai Intézet, Pécs / University of Pécs, Faculty of Medicine, Institute of Biochemistry and Medical Chemistry, Pécs

SZALAY Anna
Magyar Szabványügyi Testület (MSZT) / Hungarian Standards Institution

Antal VERES[4]
Matematika és Modellezés Tanszék, Matematika és Természettudományi Alapok Intézet, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllő / Department of Mathematics and Modelling, Institute of Mathematics and Basic Science, Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Gödöllő

VISINÉ RAJCZI Eszter
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Természetvédelmi Intézet, Sopron / University of Sopron, Faculty of Forestry, Institute of Environmental and Nature Conservation, Sopron

Élelmiszervizsgálati Közlemények / Journal of Food Investigation
Kiadó / Publisher: Szegedi Tudományegyetem, 6720 Szeged, Dugonics tér 13. / **HU ISSN 2676-8704**
Felelős kiadó: a Szegedi Tudományegyetem rektora
Főszerkesztő / Editor-in-chief: Prof. Dr. BÁNÁTI Diána
Szerkesztő / Editor: NYERGESNÉ Dr. ILLÉS Erzsébet

Szerkesztőbizottság / Editorial Board:

AMBRUS Árpád Dr.	*nyugalmazott egyetemi tanár, Nemzeti Élelmiszerbiztonsági Hivatal – NÉBIH – főtanácsadó* *professor emeritus, National Agency for Food Safety, lead advisor*
BARNA Sarolta Dr.	*igazgató, Nemzeti Élelmiszerbiztonsági Hivatal – NÉBIH –, elnökhelyettes* *director, National Agency for Food Safety, Directorate Of Risk Assessment, deputy president of the Office*
BÁNÁTI Diána Prof. Dr.	*egyetemi tanár, rektori megbízott, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar* *full professor, special advisor of the rector, University of Szeged Faculty of Engineering*
BÉKÉS Ferenc Dr.	*a Magyar Tudományos Akadémia külső tagja, nyugalmazott tudományos osztályvezető, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Sydney, Ausztrália, igazgató, FBFD PTY LTD.* *external member of the Hungarian Academy of Sciences, retired head of Scientific Department, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Sydney, Australia, director, FBFD PTY LTD.*
BIACS Péter Dr.	*nyugalmazott egyetemi tanár, MATE* *professor emeritus, MATE*
BIRÓ György Dr.	*nyugalmazott egyetemi tanár, Semmelweis Orvostudományi Egyetem, Egészségtudományi Kar* *professor emeritus, Semmelweis University of Medicine, Faculty of Health Sciences*
BOROSS Ferenc Dr.	*ügyvezető elnök, EOQ Magyar Nemzeti Bizottság* *executive chairman, EOQ Hungarian National Committee*
CSAPÓ János Dr.	*Debreceni Egyetem, ÁTK, Élelmiszertechnológiai Intézet; Sapientia EMTE Csíkszeredai Kar, Élelmiszertudományi Tanszék* *professor emeritus, University of Debrecen*
FODOR Péter Dr.	*nyugalmazott egyetemi tanár, MATE* *professor emeritus, MATE*
GYIMES Ernő Dr.	*egyetemi docens Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar* *reader, University of Szeged, Faculty of Engineering*
GYÖRGY Éva Dr.	*egyetemi docens, Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Csíkszeredai Kar, Csíkszereda, Élelmiszertudományi Tanszék* *reader at Sapientia Hungarian University of Transylvania, Csíkszereda*
GYŐRI Zoltán Dr.	*egyetemi tanár, Debreceni Egyetem* *professor emeritus, University of Debrecen*
KASZA Gyula Dr.	*elnöki főtanácsadó, NÉBIH* *reader, University of Veterinary Medicine Budapest*
KOVÁCS Béla Dr.	*egyetemi tanár, Debreceni Egyetem* *professor, University of Debrecen*
LUKIN, Aleksandr Dr.	*egyetemi tanár Dél-Uráli Állami Egyetem, Cseljabinszk, Orosz Föderáció* *professor, South-Ural State University Chelyabinsk, Russian Federation*
MARÁZ Anna Dr.	*egyetemi tanár, MATE, Élelmiszertudományi Kar* *professor emeritus, MATE*
MOLNÁR Pál Dr.	*elnök, EOQ Magyar Nemzeti Bizottság, egyetemi tanár, Szegedi Egyetem Mérnöki Kar* *president of EOQ HNC, emeritus professor, University of Szeged*
NAGY Edit	*főtitkár, Magyar Víziközmű Szövetség* *general secretary, Hungarian Water Utility Association*
POPOVICS Anett Dr.	*egyetemi adjunktus, Óbudai Egyetem, Keleti Károly Gazdasági Kar* *reader, Óbuda University*
SALGÓ András Dr.	*prof. emeritus, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem;* *prof. emeritus, Budapest University of Technology and Economics*

SIMONNÉ SARKADI Livia Prof. Dr. habil.	*egyetemi tanár, MATE Élelmiszertudományi Kar* *university professor, MATE Faculty of Food Sciences*
SIPOS László Dr.	*egyetemi docens, MATE, Élelmiszertudományi Kar* *reader, MATE Faculty of Food Sciences*
SOHÁR Pálné Dr.	*nyugalmazott főosztályvezető, Nemzeti Élelmiszerbiztonsági Hivatal* *retired head of department, National Agency for Food Safety*
SZABÓ S. András Dr.	*nyugalmazott egyetemi tanár, Budapesti Corvinus Egyetem, Budapesti Ward Mária* *retired professor of MATE, Budapest Ward Mária School*
SZALAY Anna	*szabványosító menedzser, Magyar Szabványügyi Testület – MSZT* *standardization manager, Hungarian Standards Institution (HSI)*
SZEITZNÉ SZABÓ Mária Dr.	*nyugalmazott igazgatóhelyettes, Nemzeti Élelmiszerbiztonsági Hivatal – NÉBIH* *deputy director, National Agency for Food Safety, Directorate of Risk Assessment*
SZIGETI Tamás János Dr.	*stratégiai igazgató, Bálint Analitika Kft, címzetes* *főiskolai docens, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, címzetes egyetemi docens, Debreceni Egyetem* *JFI - ÉVIK editor-in-chief, strategy director at Bálint Analitika Ltd., honorary reader, University of Szeged, University of Debrecen*
SZILVÁSSY Blanka Daniella Dr.	*élelmiszerbiztonsági felügyelő, Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal – NÉBIH –Élelmiszer- és Takarmánybiztonsági Igazgatóság* *JFI – ÉVIK editor, food safety inspector, National Food Chain Safety Office (NFCSO), Department of Food and Feed Safety*
TÖMÖSKÖZI Sándor Dr.	*egyetemi docens, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem* *reader, Budapest University of Technology and Economics*
VARGA László Dr.	*egyetemi tanár, Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszer-tudományi Kar* *professor, Széchenyi István University, Institution of Food Sciences*

Borítókép / Cover image: pexels.com

Layout: Adworks Kft.

A lap negyedévente, elektronikus formában jelenik meg. / This e-journal is published quarterly.

Az *Élelmiszervizsgálati Közlemények* nyílt hozzáférésű (open access) folyóirat, melynek tartalma jogi védelem alatt áll. A közlemények egésze és minden részlete azonosító adataik pontos megadásával, a szerzőre és a folyóiratra való hivatkozás mellett használhatók fel. Ha a felhasználó a felhasznált szövegben vagy annak bármely részletében változtatást eszközöl, azt egyértelműen jeleznie kell. A folyóirat tartalma kereskedelmi célokra nem használható fel.

Journal of Food Investigation is an open access journal, its volumes and full contents are freely available upon publication without a fee or restrictions. Earlier volumes are available in the Archive. The full or partial content of published papers are copyright protected and allowed to be referred to or distributed with reference to the title of the journal. If user or distributor makes any changes in any section of the texts published, it must be clearly noted. The content of the Journal is forbidden to be used for commercial purposes.

A szakfolyóiratot a következő figyelőszolgáltatások vették jegyzékbe és referálják / this journal is listed by the following monitoring services: SCOPUS, SCIMAGO, MATARKA / *Hungarian Periodicals Table of Contents*, Magyar Tudományos Akadémia Könyvtár és Információs Központ, Magyar Tudományos Művek Tára / *Hungarian Academy of Sciences, Library of Information Centre, Hungarian Scientific Bibliography Database* / *Publishers International Linking Association Inc. (Crossref (DOI) Registration Agency)*